July 20, 1956 Vol. 2. No. 2.

三 重 県 立 大 学

水 産 学 部 紀 要

第貳巻・第貳號

Journal of the Faculty of Fisheries,
Prefectural University of Mie

Otanimachi, Tsu, Mie Prefecture
Published By The University
1956

CONTENTS

核分裂生成物及び二次誘導放射性物質による魚の代謝機構

吉　井　義　一

目　　次

核分裂生成物及び二次誘導放射性物質による魚の代謝機構

吉　井　義　一

(表 1～17)　(挿図 1～50)

三重県立大学水産学部

1　緒　　言

1954 年，3 月 1 日，マーシャル群島ビキニ環礁 (Bikini Atoll) に於いて，米国によつて原水爆実験が行はれた。3 月 14 日，焼津入港のマグロ漁船，第5福竜丸は爆発当日にその降灰を浴びて，乗組員は被災し船体及び漁獲物は汚染を受けた。その後その海域に於いて操業した漁船の漁獲物も放射能による汚染が認められた。

引き続き同地に於いて行はれると云ふ数回* の原水爆実験に対しその影響と被害の予想を含めて水産庁は同地に調査船を派遣することになつた。調査船として俊鶻丸 (588 噸) があてられ，ビキニ海域に於ける魚類，その他，生物，海水大気に含まれる放射能，船及び乗組員に与える影響，及び放射性物質を運搬媒介する気流，海流の調査を主な目的とした。俊鶻丸は 1954 年 5 月 15 日，東京を出帆し 7 月 4 日再び帰港まで，128°E～162°E，3°S～33°N にわたつて上記の調査研究を遂行した。

筆者は調査員として同期間中は船内において放射能を有する試料（海水，プランクトン，魚類）を物理，化学的研究を行い，7 月 15 日以降は同船にて採取せし試料（特にカツオ**）を三重県津市，三重県立大学，水産学部に持ち込み引続いて物理，化学及び生物学的方法を用いて魚類の放射性物質の摂取経路，種類，移行，及び代謝の研究を行つた。研究結果として一応の結論に到達したので報告する。

尚本論文の定点番号，観測日時及び位置は全て Fig 1. 及び Table 1 に従ふ。

2　物理的方法

2.1. 測定の方法

2.1.1. 測定装置

測定装置は諸試料に含まれる放射線の中で，β-線を測定することが都合が良い。従て現在，日本で最も広範囲に使用されている科学研究所製品，32 進型計数装置を用いた。こ

* 1954年，3 月 1 日，3 月 26 日，4 月 6 日，4 月 26 日，5 月 5 日，5 回の実験が行はれたと考へられている。

** *Katsuwonus pelamis* (6 月 12 日，St. 20 にて採取　俊鶻丸，魚体番号 No. 26)

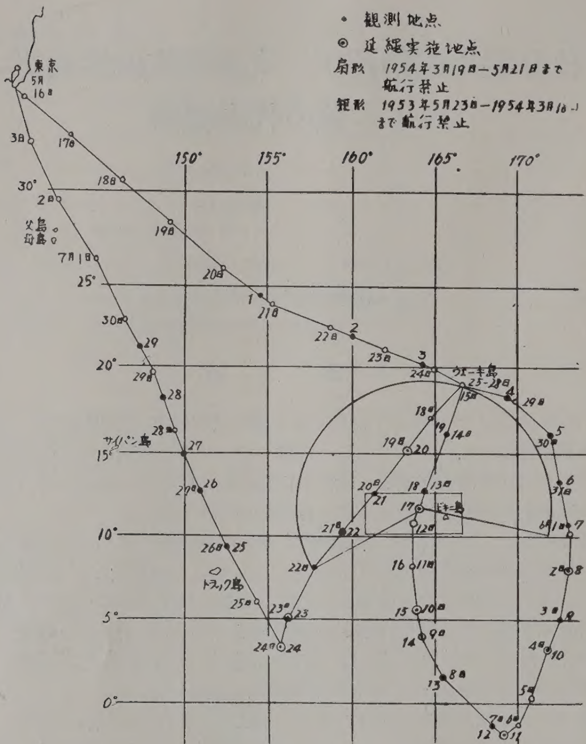


Fig. 1　航　路　図

の装置は G. M. 計数管 (Geiger Counter) を上方に取りつけた測定台，32 進法の減数器 (Scaler)，及び録数器 (Mechanical Recorder) よりなる。Fig. 2 に示した。計数管の構造は Fig. 3 に示す如く，中心に 0.1mm のタングステン線をもつ，直径及び有効の長さ (Effective Length)，24,5mm 及び 38mm の円筒状の端窓型 (End Window Type) である。管内には 10cmHg のアルゴン及び 2cmHg のアルコール封入の自己消滅型 (Self-quenching Type) で，窓の厚さ 3.5mg/cm^2 の雲母で光子の偽計数 (Spirious Counting) を除ぐためアクワダック (Aquadac) が塗られている。計数管の始動電圧は 1100V であり，全測定期間中，平滑部 (Flat Portion) は 200V 以上で傾斜 (Slope) は約 3%/100V であつた。

計数管の死時間 (Dead Time) は，$\rho=1.8\times10^{-4}$sec で，録数器の分散時間 (Resolving Time) は，$\tau\doteqdot10^{-2}$sec である。従つて高度の計数の場合の数へ落しは上記の常数と減数率 (Scale down) によつて決定される。真の計数値 N_{cpm} は[1]

Table 1. 調 査 点 一 覧 表

定点番号 (St. No.)	月　日	位置 緯度	位置 経度	観測時間 (日本時間)	延縄回数
1	5—21	23°-58′N	154°-40′E	0500～0715	
2	22	21 -55N	160 -00E	1903～2046	
3	24	19 -53N	161 -00E	0909～1025	
4	29	18 -12N	169 -43E	1000～1153	
5	30	16 -02N	171 -50E	1100～1232	
6	31	13 -51N	172 -56E	0400～0538	
7	6— 1	10 -44N	173 -03E	0400～0600	
8	2	8 -02N	173 -02E	0315～0442	1
9	3	5 -03.5N	172 -59E	0945～1400	
10	4	3 -01N	171 -59E	0400～1244	2
11	6	2 -21S	169 -56E	0400～1740	3
12	7	1 -15S	168 -05E	0400～0600	
13	8	1 -04N	165 -47E	0400～0615	
14	9	3 -55N	163 -52E	0400～1100	4
15	10	5 -44N	163 -58E	0417～0730	5
16	11	8 -43N	164 -01E	0800～1005	
17	12	10 -55N	163 -51E	0400～0758	6
18	13	13 -23N	164 -25E	0800～1039	
19	14	15 -57N	165 -22E	0445～0715	
20	19	15 -03N	163 -15E	0400～0555	7
21(1)	20	12 -42N	161 -26E	0800～1030	
(2)	〃	12 -18N	161 -03.5E	1400～1420	
(3)	〃	11 -54N	160 -46E	1730～1750	
(4)	〃	11 -30N	160 -29E	2050～2124	
(5)	21	11 -06N	160 -12.5E	0025～0047	
(6)	〃	10 -42N	159 -55E	0347～0415	
22(1)	〃	10 -21N	159 -35E	0715～0933	
(2)	〃	9 -58.5N	159 -15E	1233～1253	
(3)	〃	9 -35N	158 -57E	1553～1615	
(4)	〃	9 -13N	158 -41E	1901～1943	
23	23	5 -03N	155 -53E	0747～1300	8
24	24	3 -24.5N	155 -34E	0800～1025	9
25	26	8 -59N	152 -51E	0535～0615	
26	27	12 -00N	151 -10E	0438～0530	
27	28	14 -46N	149 -56E	0020～0122	
28	29	18 -00N	148 -38.5E		
29	29	21 -00N	147 -21E	2156～2245	

$$N=\frac{\chi n_\kappa}{1-\chi n_\kappa \rho}\qquad 但し\quad \chi\simeq\tau/\rho \qquad (1)$$

χ は減数率（この場合 32），n_κ は録数器に記録される計数（$1/\kappa$ に減数されている)。従つて条件，$\chi\simeq\tau/\rho$ に対し $\tau/\rho\simeq10^{-2}/1.8\times10^{-4}\simeq50$ で $\chi=32$ に略満足してる。$N/\chi n_\kappa=1/1-\chi n_\kappa\rho$ をグラフ (Fig. 4) に画き補正を施した。(ρ 及び τ は sec を min で計算されねばならぬ)。

計数時間の決定と，統計的揺動 (Statistical Fluctuation) による百分率の誤差 (Percentage Error) は自然計数 (Natural Counting)，及び試料の放射能の強度によつて決定される。試料を置き t 分間測定した時の計数を N，試料なしで t_0 分間測定した時の計数を n_0. とし，$t=t_0$ の場合に百分率の誤差を f_s とすれば(2)

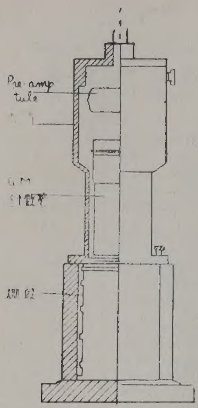


Fig. 2 測 定 台

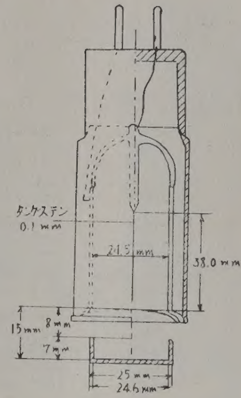


Fig. 3 計 数 管

$$f_s = \frac{100}{\sqrt{n_0}} \times 0.67 \frac{\sqrt{\frac{N}{n_0}+1}}{\frac{N}{n_0}-1} \quad (2)$$

で表はされる。従つて f_s は測定時間によつて左右される。数多くの試料に対し測定時間を充分かければ，かける だけ誤差を減少せしめえるが，技術的に困難なため，試料の放射能の強度を Table 2 に示した三段階に分けて測定した。

従つてこの報告に於ける β-線の計数の百分率の誤差は，全てこの Table 2 に依る。

γ 線の計数及びエネルギー測定の為に，シンチレーヨシ計数管を使用した。螢光体としての結晶は NaI (Tl 活性) の単結晶で 1×1×1″ の大きさで，これを光電子増倍管 (DuMont 6292) の光電面にシリコン油を介して接着した。増倍管からの脈動は前置増巾器 (6U8 の負饋還回路) に入れ，更に広帯域 (50c/sec～6mc/sec) の比例増巾器 (6AK5, 6SH7, 6SH7) にて 100 倍に増巾し，波高分析器を通して計数回路に入れた。予め Co^{60} (γ線 1.16Mev, 1.32Mev) を用いて，未知の γ-線 (例へば Zn^{65}, Fe^{59}) と比較し

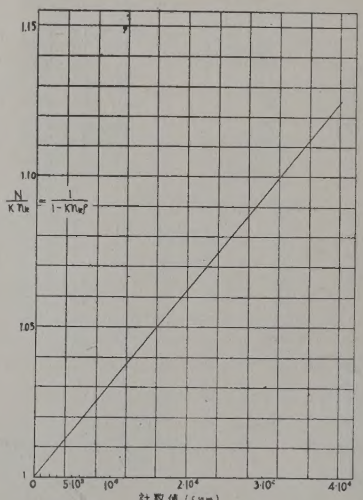


Fig. 4　計数値の補正図

Table 2.

Ncpm (毎分計の数値)	$t=t_0$ (測定時間)	f_s
10 ～10^2 cpm	20 min	10～2.5%
10^2～10^3 cpm	10 min	2.5～1.5%
10^3 cpm 以上	3 min	1.5% 以下

た。又計数管及び前置増巾器は 2cm の鉛で遮蔽した。Back ground の計数は約 100cpm を示した。シンチレーション計数管は Zn^{65} 及び Fe^{59} の再確認に用いた。

2.1.2. 測定の条件

試料皿は計数管の窓と同面積の直径 25mm，高さ 7mm の不銹鋼の皿を用いた。測定の幾何学的条件を一定にするため試料皿は計数管の窓より 15mm の下に置いた。(Fig. 3 の如く皿底が窓から 15mm である。) 魚体各部の測定で試料の採取量による計数値の変動を gr 単位に換算するため，予め試料自体による自己吸収曲線を求めた。即ち俊鶻丸にて採取せしキヘダの肝臓及び腎臓を用いて，新鮮物 (Wet Matter) 及び乾物 (Dry Matter) に就いて重量に対する計数値のグラフを画いた。Fig. 5 及び Fig. 6 に示した如く新鮮物では 1.5gr 以下，乾物では 0.15gr 以下において直線的である。従つてこの間の重量の試料を用いて gr 単位に換算した。

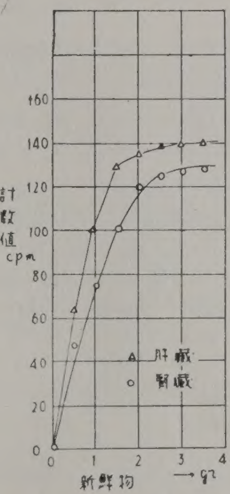


Fig. 5　新鮮物の自已吸収曲線

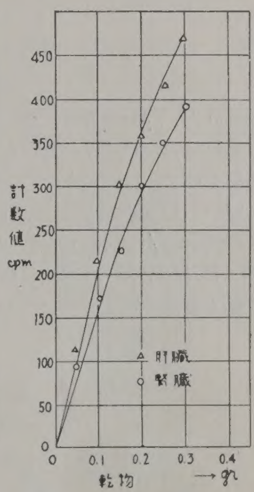


Fig. 6　乾物の自己吸収曲線

次に β-線の計数値 (cpm＝counts/min) と放射能の強度 (dpm＝disintegrations/min) の関係式は Zunwalt 及び多くの人[3] によつて報告されている。簡単には

$$D=\frac{N}{G.f_w \cdot f_b} \qquad (3)$$

で表はされる。

D : dpm　1 分間に試料中の原子の崩壊する数

N : cpm　2. 1. 1. にのべた補正を行つた計数値

G : 幾何学的条件による補正

f_w : 窓，及び試料と窓間の空気による β- 線の吸収に関する補正

f_b : 試料皿よりの後方散乱による補正

N に多くの γ-線を含む場合には，この式は成立たたぬが，使用した計数管の γ-線の効率は極めて少い*。G に就いては計数管の有効半径を r, h の距離に半径 d の円形の β-線源が共軸的に置かれている場合 (Fig. 7)，G は近似的に

$$G=\frac{1}{2}\left[1-\frac{1}{(1+\beta)^{1/2}}-\frac{3}{8}\frac{\beta\gamma}{(1+\beta)^{5/2}}-\gamma^2\left(-\frac{6}{15}\frac{\beta}{(1+\beta)^{7/2}}+\frac{35}{64}\frac{\beta^2}{(1+\beta)^{9/2}}\right)\right. \qquad (4)$$

* γ-線の効率は概ね 1/100 以下で，又多くの試料に関して Al の吸収板により吸収曲線を画くとき，γ-線の成分は 3% 以下である。

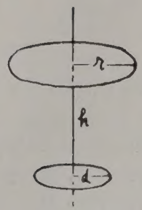


Fig. 7

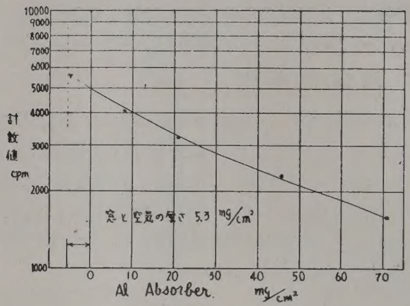


Fig. 8 窓と空気の厚さによる補正曲線
R_aD+E (β線 -only 1.17Mev)

で示され[4]， $\beta=(r/h)^2$， $\gamma=(d/h)^2$ とする。実験条件として $r=12.5$mm. $h=15$mm. $d=12.5$mm を代入すれば，$G=0.086$ となる。f_w に関しては窓の厚さ，3.5mg/cm² と空気層の厚さ，1.8mg/cm² の和， 5.3mg/cm² であり，これによる吸収を RaD+E (β-線 only 1.17 Mev) を用い、Al の吸収板による吸収曲線の外挿より求めた (Fig. 6)。即ち $f_w=5600\text{cpm}/4800\text{cpm}=1.17$となる。$f_b$ に関しては Ca^{45} (0.2 Mev). Sr^{90} (0.6 Mev). RaD+E (1.17 Mev) 及び P^{32} (1.7 Mev) の β 線を用い，極めて薄いコロヂオン膜にのせて後方散乱の効果をなくして測定し，試料皿と比較した。

Table 3.

	0.2 Mev	0.6 Mev	1.17 Mev	1.7 Mev
コロジオン	1	1	1	1
試 料 皿	1.20	1.27	1.30	1.40

又他の報告[5] によれば，試料皿(不銹鋼)は皿の厚さ 0.2mm は後方散乱に飽和してる故，この値をその儘使用し，核分裂生成物の平均エネルギーを 1 Mev 程度とすれば，$f_b=1.30$ となる。従つて

$$D=\frac{N}{0.086\times1.17\times1.30}=\frac{N}{0.177} \qquad (5)$$

となり，μ. c. 単位に換算すれば

$$M_{\mu.c.}=2.54\times10^{-6}\cdot N \qquad (1.17\text{Mev}) \qquad (6)$$

尚同じ測定装置にて Sr^{90} (0.6Mev)* 及び Ce^{144}(0.38Mev)** を用いて

$$M_{\mu.c.}=3.14\times10^{-6}\ N \qquad (0.6\text{Mev}) \qquad (6)'$$

$$M_{\mu.c.}=5.9\times10^{-6}\ N \qquad (0.38\text{Mev}) \qquad (6)''$$

* 東大・農学部水産学教室の市川，小川両氏の換算値
** 気象研究所の三宅，杉浦両氏の換算値

と出している。

2.2. 減衰の測定

2.2.1. 減衰常数と爆発日の決定法

試料の減衰の測定は 1954 年 5 月 22 日より 6 月 30 日迄は俊鶻丸船上で，7 月 15 日より 9 月 30 日迄は津市，三重県立大学にて行つた。実験室に於ける計数装置の日々の微小変化は Sr^{90}(25y) を用いて補正した。放射性物質は物理的半減期に従つて減衰するか，核分裂生成物で構成する放射性物質の混合物は非常に複雑であるが実験の結果，一般には(6)

$$I=I_0t^{-n} \tag{7}$$

で表はされる。但し I は放射能の強度，I_0 は当初の放射能の強度，t は爆発時より起算した時間である。従つて適当に爆発日を仮定して両対数方眼紙に I 及び t に関してプロットして最小自乗法で直線をあてはめ，(7) 式の I_0 及び n を求める方法を採用した。そして当てはめた直線から実測値のバラツキが最も少くない日を爆発日と定めた。一例とし

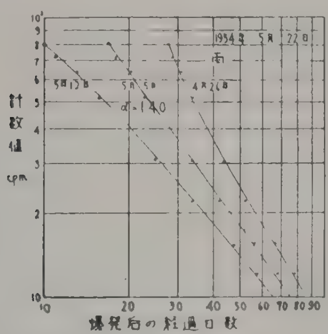


Fig. 9　1954 年 5 月 22 日採取せし雨の減衰の状態

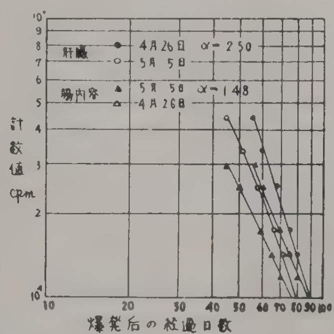


Fig. 10　1954 年 6 月 19 日捕獲せしカツオの肝臓及び腸内容の減衰の状態

て 5 月 22 日　採取の雨，6 月 19 日に採取のカツオ (No. 26) の肝臓及び腸内容物に関して Fig. 9 及び Fig. 10 に示す。この方法に対に気象研究所の原水爆調査グループ* は次の方法の採用を提案した。即ち (7) 式を微分して

$$\frac{dI}{dt}=-I_0nt^{-n-1}-I_0t^{-n}\frac{dn}{dt}\log t \tag{8}$$

(7) (8) 式の比をとり

$$\frac{I}{\frac{dI}{dt}}=-\frac{t^{-n}}{\alpha^{t-n-1}+t^{-n}\frac{dn}{dt}\log t}=-f(t) \tag{9}$$

* 気象研究所原水爆調査グループ，自然，6 月号，p. 13, 1955

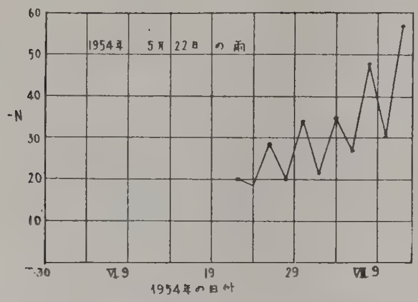


Fig. 11 気象研原水グループの爆発日決定法に従う 1954 年 5 月 22 日採取の雨

をだし，$N=I/dI/dt$ とおき，特に n が t の函数でない時，$-N=t/n$ となる。従つて減衰率の測定から $-N$ を求め，t に関してプロットし，その傾斜が n の逆数を与へ，$-N$ が 0 になる所を爆発日と定める。この方法で上記の雨に関して行つたが，Fig. 11 に示す如く爆発日の外挿に難があり核分裂生成物を U^{235} と同じであると考へることは出来ない*。従つて筆者は此の方法を採用せず，一般の方法を用いた。

2. 2. 2. 爆発日と減衰常数

Table 4. 諸試料の減衰常数と爆発推定日

種類	部位	St.	採取日	爆発推定日	n	測定期間
雨		2	5-22	5-5	1.40	$10d\leqq t\leqq 60d$
海水	表面	6	5-31	〃	1.70	$25d\leqq t\leqq 60d$
〃	〃	17	6-12	〃	1.65	$35d\leqq t\leqq 90d$
〃	500 m 下	〃	〃	〃	1.80	$35d\leqq t\leqq 90d$
プランクトン	小型プランクトン	5	5-30	〃	1.00	$20d\leqq t\leqq 60d$
〃	〃	6	5-31	〃	1.00	$20d\leqq t\leqq 60d$
〃	撓脚類	〃	〃	〃	1.25	$20d\leqq t\leqq 60d$
〃	〃	17	6-12	〃	1.40	$30d\leqq t\leqq 90d$
〃	サルパ	6	5-31	〃	2.00	$20d\leqq t\leqq 90d$
〃	サルパ（内臓）	21	6-20	〃	2.50	$38d\leqq t\leqq 90d$
稚魚		6	5-31	〃	1.55	$20d\leqq t\leqq 60d$
雑草		Wake島	6-15	〃	1.60	$35d\leqq t\leqq 60d$
カツオ (26)	肝臓	20	6-19	6-26	2.50	$55d\leqq t\leqq 120d$
メバチ (52)	〃	18	6-13	5-5	2.30	$30d\leqq t\leqq 90d$
キハダ (60)	〃	18	〃	〃	2.30	$30d\leqq t\leqq 90d$
クロカジキ (5)	〃	14	6-9	〃	2.10	$30d\leqq t\leqq 90d$
トビウオ	〃	6	5-31	〃	2.00	$20d\leqq t\leqq 60d$
〃	〃	18	6-13	〃	2.80	$30d\leqq t\leqq 90d$
カツオ (26)	腸内容	20	6-19	〃	1.45	$55d\leqq t\leqq 120d$
メバチ (52)	〃	18	6-13	〃	0.80	$30d\leqq t\leqq 90d$
キハダ (60)	〃	〃	〃	〃	1.20	$30d\leqq t\leqq 90d$
クロカジキ (5)	〃	〃	〃	〃	1.10	$30d\leqq t\leqq 90d$
トビウオ	〃	6	5-31	〃	0.70	$30d\leqq t\leqq 60d$
カツオ (26)	腎臓	20	6-19	6-26	2.20	$55d\leqq t\leqq 120d$
キハダ (60)	〃	18	6-13	5-5	2.00	$30d\leqq t\leqq 90d$
カツオ (60)	血液	20	6-19	6-26	1.65	$55d\leqq t\leqq 120d$
〃	脾臓	〃	〃	〃	0.45	$55d\leqq t\leqq 120d$
〃	幽門垂	〃	〃	〃	0.75	$55d\leqq t\leqq 120d$

但し，種類の欄中の括弧は俊鶻丸魚体番号

* 5. 1. 1. に論ずる

雨，海水の表面，及び 500 米下，撓脚類，サルパ類，稚魚，キハダ，クロカジキ，カツオ，飛魚の魚体各部，及ひウエーキ島の 雑草に関して求めた爆発日と減衰常数の値を Table 4 に表はした。この表から明らかな如く試料の大部分は 5 月 5 日前後に爆発した核分裂生成物による汚染と見られる。然し 6 月 19 日 St. 21 で獲れたカツオ (No. 26) の魚体各部中，腸内容物を除いて肝臓，腎臓及び血液は 4 月 25 日前後を起点日とすれば直線的になつた。腸内容物は 5 月 5 日前後を起点日とした方が直線的となる。

核分裂生成物による諸試料の減衰常数の測定は，3 月 1 日の原水爆の第 5 福竜丸上の降灰(7)(8)(9)(10) 及び 9 月，11 月の原水爆と推定されるものによる降雨(11) がある。又俊鶻丸にて採水せし海水の杉浦氏の測定(12) がある。その他，1 54 年，アメリカのトロイ市に於ける降雨の測定(13) があり，之等全てを Table 5 に記した。Table 4 及び Table 5 を比較して諸試料の減衰を検討する。

Table 5. 核分裂生成物による放射性物質の減衰常数

種　類	爆発日	n	測定期間	測定者
灰 ($\beta+\gamma$, 白色)	3-1, 1954	1.37	$16\,d \leqq t \leqq 71\,d$	木村健二郎，他(7)
〃 ($\beta+\gamma$, 無処理)	〃	1.81	$16\,d \leqq t \leqq 110\,d$	塩川 孝信，他(8)
〃 ($\beta+\gamma$, 可溶性)	〃	2.71	$16\,d \leqq t \leqq 110\,d$	〃
〃 ($\beta+\gamma$, 不溶性)	〃	1.68	$16\,d \leqq t \leqq 110\,d$	〃
〃 (γ, 船上)	〃	1.66	$46\,d \leqq t \leqq 110\,d$	山崎 文男，他(9)
〃 ($\beta+\gamma$, 白色)	〃	1.17±0.02	$64\,d \leqq t \leqq 145\,d$	石橋 雅義，他(10)
〃 ($\beta+\gamma$, 灰色)	〃	1.24±0.05	$64\,d \leqq t \leqq 145\,d$	〃
海水 (沈澱法)	5-5, 1954	1.5(1.3～1.6)	$60\,d \leqq t \leqq 90\,d$	杉浦 吉雄(12)
〃 (瓶中のもの)	〃	2.6	$60\,d \leqq t \leqq 180\,d$	〃
雨 (山形)	9-15, 1954	1.3		寺崎 恒信，他(11)
〃 (新潟)	〃	1.4		渡辺 博信，他(11)
〃 (鹿児島)	9-31, 1954	1.34		鎌田 政明，他(11)
〃 (America Troy 市の貯水地)		1.27～1 37	$1\,d \leqq t$	H M. Clark(13)
〃 (America Troy 市の溜水)		1.44～1.52	$1\,d \leqq t$	〃

雨の減衰は俊鶻丸にて採取せしもの，その后，9 月，11 月，日本各地に降つたものの大部分が $n=1.3\sim1.4$ を示している。海水の減衰は筆者の測定で $n=1.7\sim1.8$，杉浦氏は $n=1.5$ を代表としている。之は測定期間の差異（筆者 $25\,d \leqq t \leqq 60\,d$. 杉浦氏 $60\,d \leqq t \leqq 180\,d$）と考へて良いであろうか。瓶にて運んだものが $n=2.6$ を示しているのは杉浦氏の所論の如く瓶内壁に繁殖したバクテリアが放射性物質を選択的に吸収した結果と推定する。又爆発後約 30 日における海水の深度による減衰の変化は認められない。塩川氏の測定した灰の中で海水に可溶性の部分は極めて小量* で且つ減衰が甚だしく，不溶性の部分が大部で減衰は筆者の測定値に類似する。従つて俊鶻丸にて採取せし海水の放射性物質の大部分は海水中の水酸化物，或いはコロイド状物質に吸着したものと推定する**。プランクトンでは小型プランクトンは $n=1$ で減衰は甚だ少く，大型プランクトンでは撓脚類及び

* 東京大学 松江吉行氏も日本学術会議放射能調査特別委員会水産班資料の 67 頁にて灰は海水に溶けず，小部分が水中に移行すると報告している。

** 放射性物質の量は 10^{-30}gr の桁であり，水酸化物との化合或いは自らコロイドをなすとは考へられない。又放射性物質を含む粒子は 0.5μ 以上でないことは 5. 1. 2. にてのべる。

サルパ類は異り，撓脚類は小型プランクトンに近い。何れも種類によつて集める元素に差異があることが認められる。魚種別よりは魚体各部によつて減衰の様子が似ている。肝臓は何れの魚種でも減衰が著るしく，腎臓が之に次ぎ，腸内容物は一定してない。脾臓が最も減衰しにくい放射性物質を有する。尚ビキニ環礁のワシントン大学の報告(14) においてもスズメダイについて減衰の甚だしさは肝臓，卵巣，腸内容物の順であつた。

2.3. β-線のエネルギーの決定

2.3.1. β-線エネルギーの決定の方法

原水爆の核分裂生成物により汚染せる試料は各種の放射性物質を有する。従つて放射性元素固有の β-線エネルギーを決定することは極めて困難である。然し之等のエネルギー

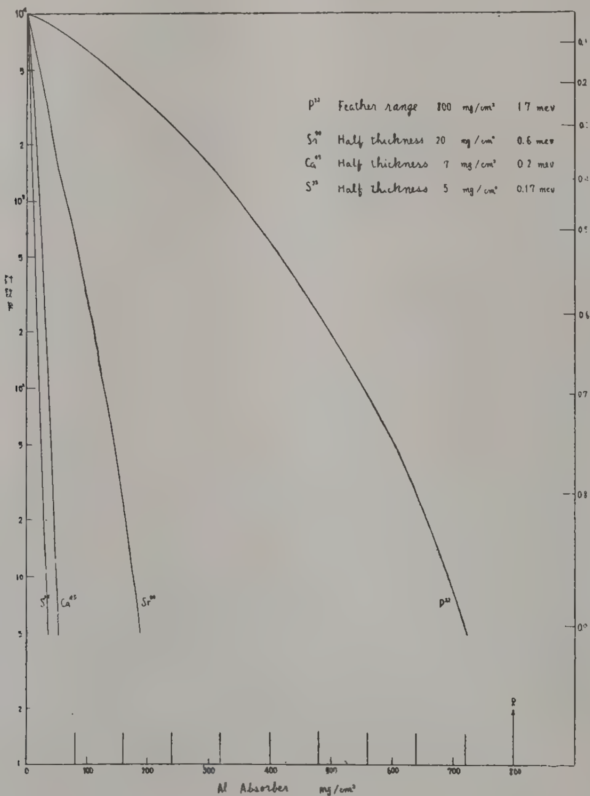


Fig. 12　P^{32} の β-線の Al 板中の吸収曲線，右側の切片は Feather Analyser として用いる Sr^{90}, Ca^{45}, S^{35} の Al 板中の吸収曲線は半価層の補正に用いる。

を決定することが少しでも出来れば試料に含れる放射性物質の同定への鍵となりうる。勿論，化学的分析の方法を用いて放射性物質の同定が望ましいが，核分裂生成物の中で特に減衰の速い元素に対して，俊鶻丸上では化学的実験が技術的に不可能である以上，種々の面積密度をもつ吸収板を通して β-線のエネルギーを測定した。

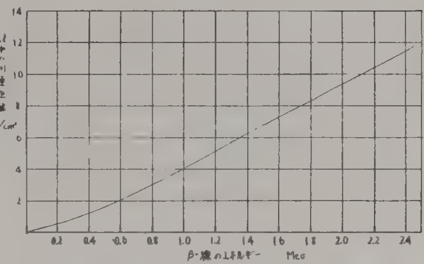


Fig. 13　β 線エネルギーと Al 板中の到距離の関係

β-線の物質による吸放は近似的に

$$I = I_0 e^{-\mu t} \tag{10}$$

で与へられ，μ 及び t は質量吸収係数及び面積密度である。μ は β-線のエネルギーだけに関係し吸収物質に殆んど無関係で，特に軽元素（アルミニユム）に対して一定と考へて良い。従つて β-線エネルギーの測定は吸収板に Al を用ひ，種々の面積密度の吸収板を通過した放射能の強度を計数し半対数グラフにプロットして，最大エネルギーを決定すれば良い。然し試料の β-線が単一でなく，γ-線を含み，測定の幾何学的条件により著しく直線からずれる。この点より β-線エネルギーの決定に最も良く使用されている Feather の方法[15] を用いた。

即ち Al に対する半価層 (Half Thickness) と到達距離 (Total Range) を決定して，エネルギーに換算した。Feather 分析の分枝 (Branch) の中で比較的エネルギーの低い部分 (0.6 Mev 以下) は[16]

$$d = 0.032\, E_{\max}^{\ 1.33} \tag{11}$$

で与へられ，$E_{\max}$ は β-線の最大エネルギーで Mev 単位，d は半価層で g/cm² 単位である。又低エネルギーの β-線を放出する同位元素 S^{35}(0.17Mev)，Ca^{45}(0.2Mev)，Sr^{90}(0.6 Mev) を用いて半価層とエネルギーの関係 (Fig. 12) を求め，(11) 式で得られた値と比較した。比較的にエネルギーの高い部分の決定に必要なフェザー・ストリップ (Feather Strip) はこの目的に一般に使用される RaE+D (β-線 only 1.17 Mev) が実験室に無かつたので，P^{32}(1.7Mev) の β-線の Al に対する吸収曲線を画くことで準備した。Fig. 12 に示してある。Feather の到達距離と β-線の最大エネルギーの関係は[16]

$$R = 0.52\,E - 0.9 \tag{12}$$

を予め Fig. 13 に画いて求めた。R は g/cm² 単位で E は Mev 単位である。

2.3.2. β-線エネルギー測定の結果

試料は β-線を放出する多くの放射性物質を含み，且つ同一放射性物質ですら二三の異つた β-線エネルギーを有するので（例へば Ba^{140} は 1 Mev を 75%，0.4 Mev を 25%），試料中，特に分明な β-線エネルギーをもつものに限られる。従つて此の方法で試料の β-線エネルギーの強度を分けることは極めて困難であり，筆者の場合は 48 例中 12 例が分析

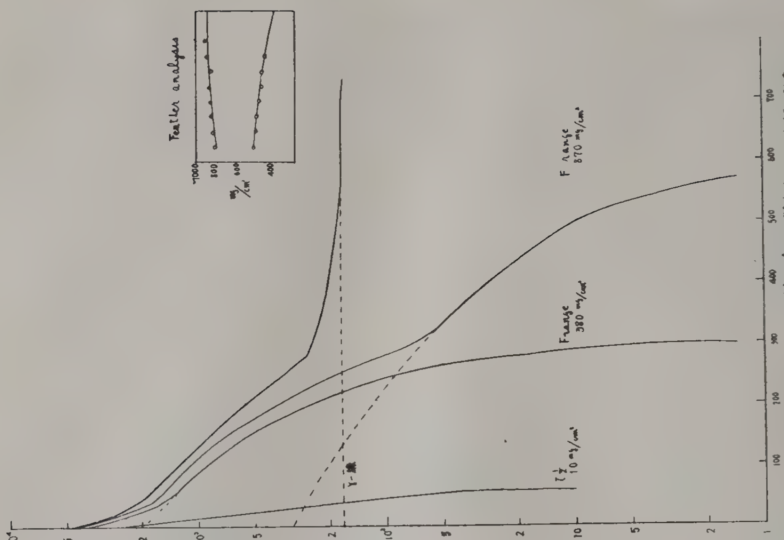


Fig. 15 サルパの Al 板中の吸収曲線

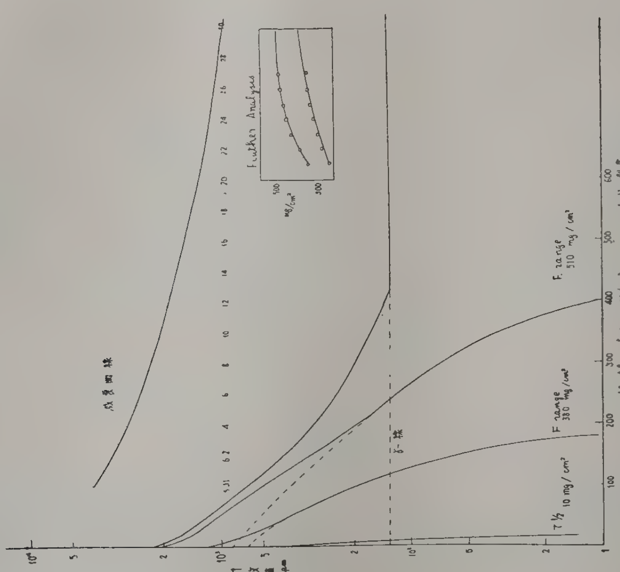


Fig. 14 海水の Al 板による吸収曲線

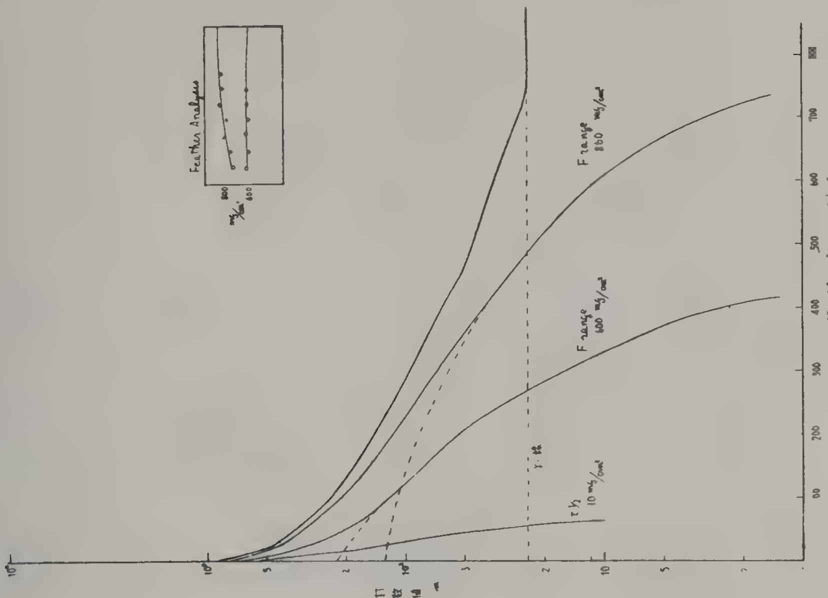


Fig. 17　[illegible]の Al 板中の吸収曲線

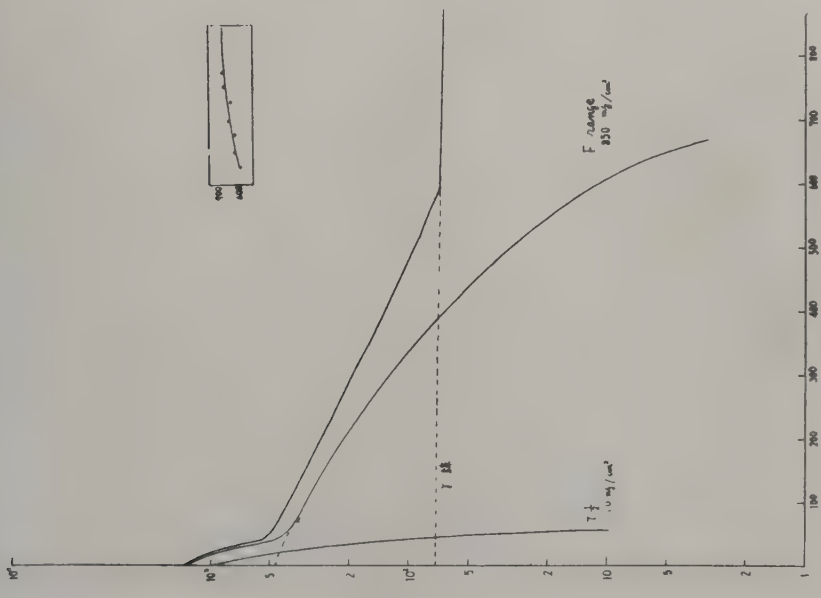


Fig. 16　サルパの Al 板中の吸収曲線

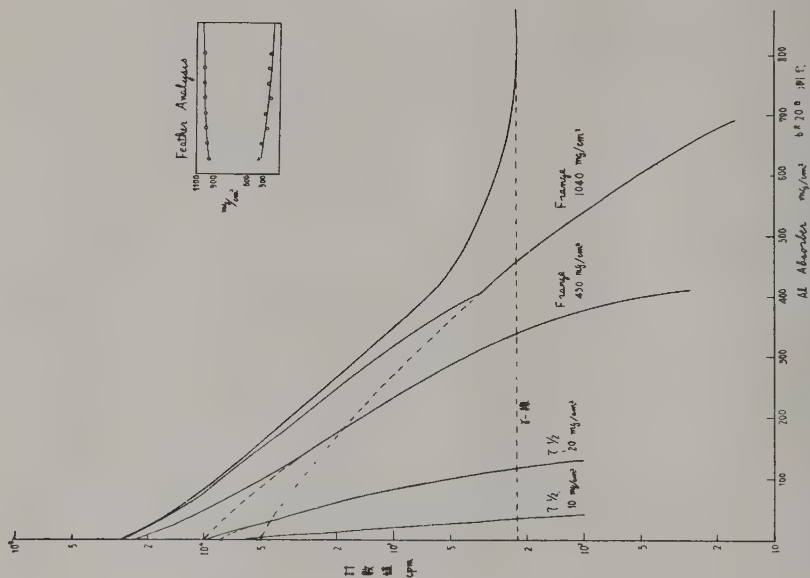


Fig. 19 カツオ肝臓の Al 板中の吸収曲線

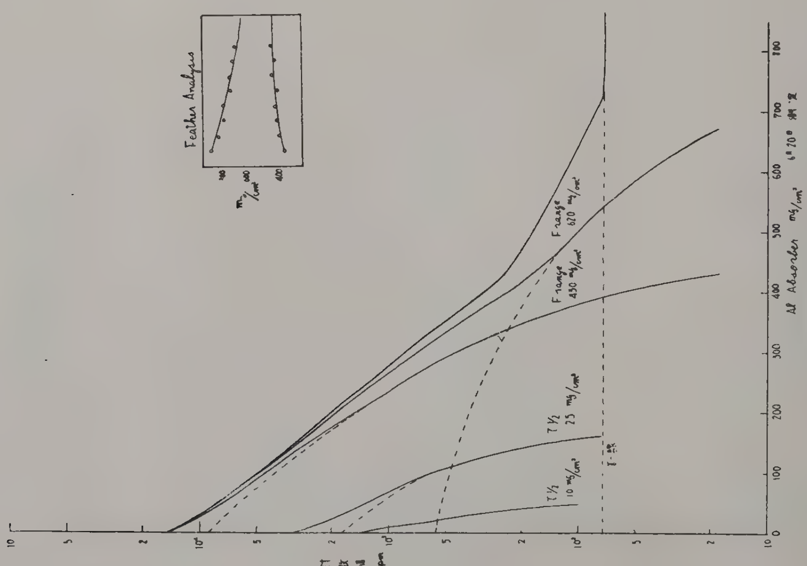


Fig. 18 カツオの腸内容の Al 板による吸収曲線

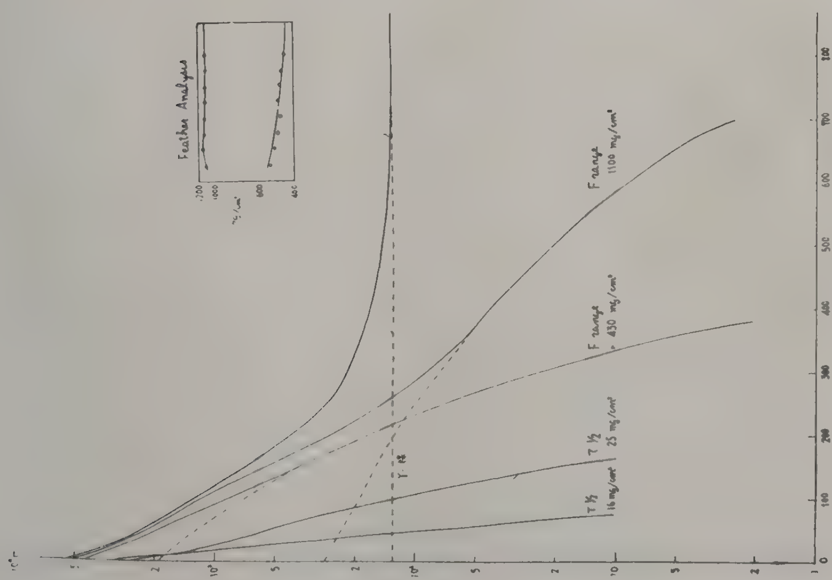


Fig. 20　キハダの肝臓の Al 板中の吸収曲線

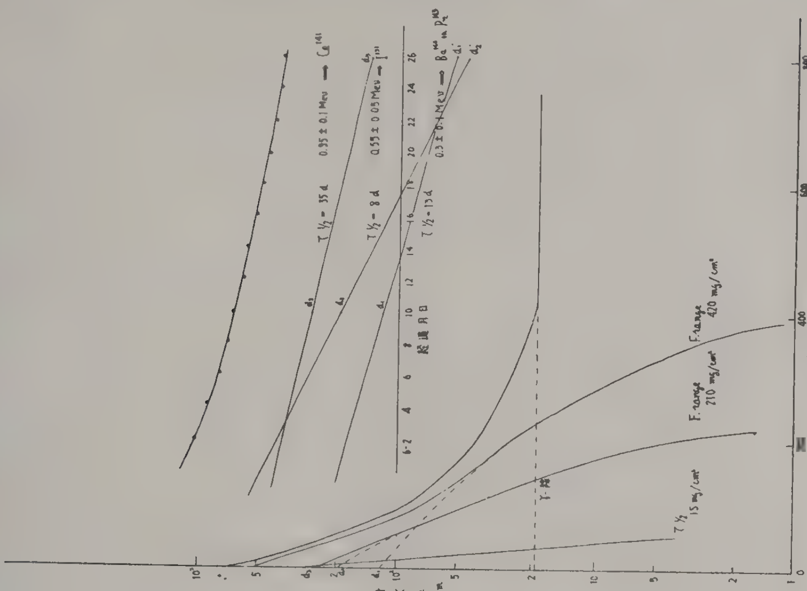


Fig. 21　トビウオの肝臓の Al 板による吸収曲線

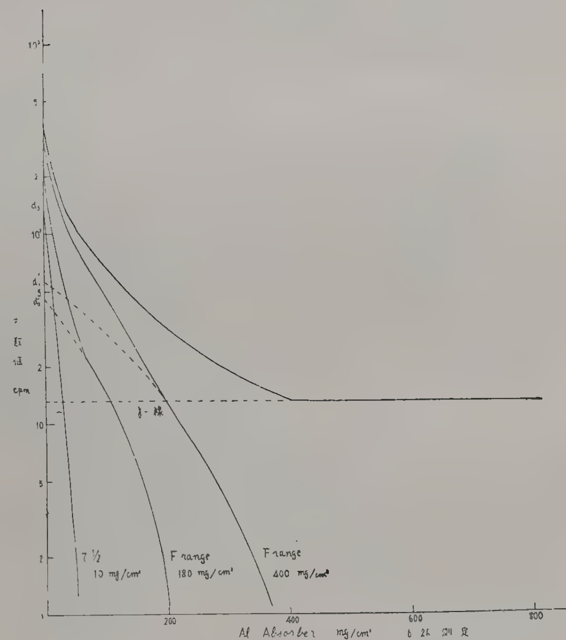


Fig. 22　トビウオの肝臓の Al 板による吸収曲線

6–10 日測定の減衰曲線を d_1, d_2, d_3 に分け，又 6–26 日測定の減衰曲線を d_1' d_2', d_3' に分け各々を結び半減期を決定する。d_1, d_1' は 1 Mev. d_2, d_2' は 0.6 Mev. d_3, d_3' は 0.4 Mev. 程度であるから半減期とエネルギーから，核分裂生成物で可能性のものを選ぶ。d_1, d_1' は Ba^{140} or Pr^{143}, d_2, d_2' は I^{131}, d_3, d_3' は Ce^{141} と決定した。

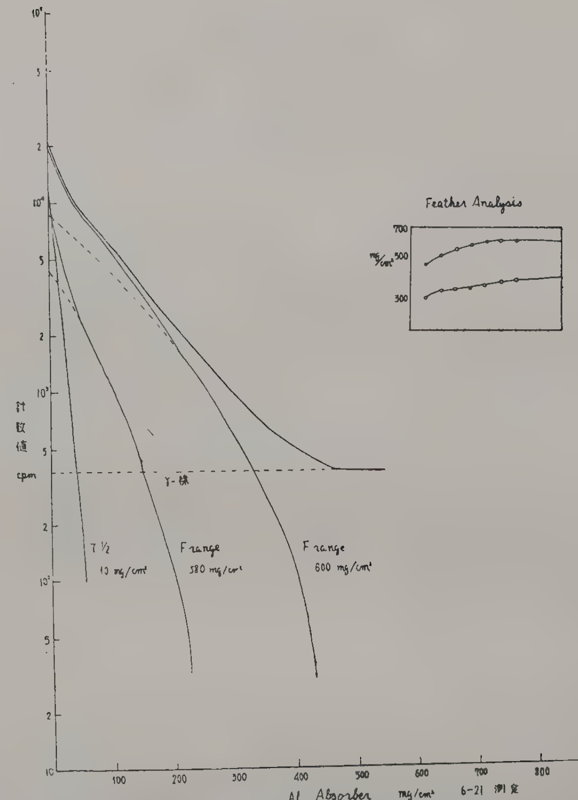


Fig. 23　カツオの腎臓の Al 板中の吸収曲線

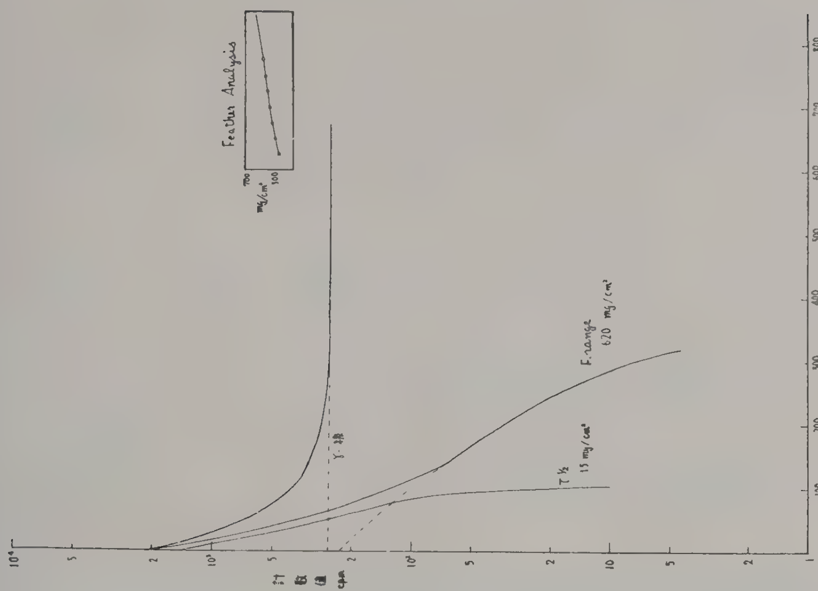


Fig. 25　カツオの脾臓の Al 板中の吸収曲線

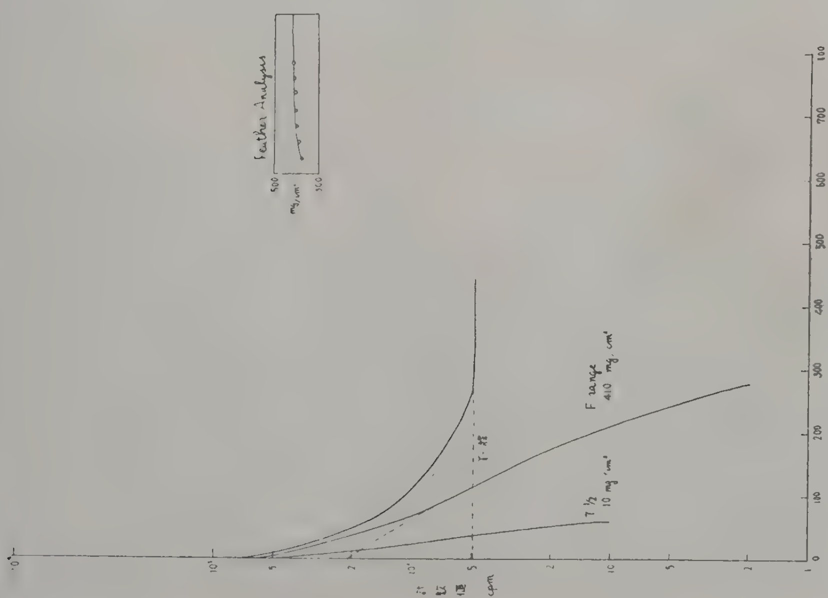


Fig. 24　キハダの腎臓の Al 板中の吸収曲線

Table 6. 諸試料の β- 線

種　類	部　位	St.	採取日	測定日	爆発后経過日数
海水	表面	6	5-31	6-11	38 *d*
プランクトン	サルパ	5	5-30	6-13	40
〃	〃	21	6-20	6-21	48
〃	撓脚類	〃	6-19	6-20	47
カツオ	腸内容	20	〃	〃	〃
〃	肝臓	〃	〃	〃	〃
キハダ	〃	18	6-13	6-14	41
トビウオ	〃	6	5-31	6-10, 6-26	37. 53
カニオ	腎臓	20	6-19	6-21	48
キハダ	〃	18	6-13	6-14	41
カツオ	脾臓	20	6-19	6-21	48

Pu^{239}　の核分裂生生成物の爆発 40 日后の収量 (0.5%以上)

二次誘導放射性物質として見出されたもの

されたに過ぎない。此等分析の結果は Fig. 14～ Fig. 25 に示す。図中の mg/cm² 単位を Mev 単位に換算すれば，0.3±0.1 Mev, 0.55±0.05 Mev, 0.95±0.1 Mev, 1.3±0.1 Mev, 1.8±0.05 Mev, 2.0±0.1 Mev. の 6 つの群に分けられる。此れ等は Table 6 に示した。 Table 6 の最右欄は γ-線の成分と考へられるものの全体の計数に対する百分率を記した。

Table 6 から判明するのは，サルパ類は 2 試料に対し β-線エネルギー分布は同等であり，撓脚類とは異る。魚体各部においても，カツオ，キハダ，トビウオの肝臓は極めて似ているエネルギー分布になり，カツオ，キハダの腎臓も似ている。肝臓，腎臓，脾臓のエネルギー分布及び γ-線成分も互いに異つている。従つて，2. 2. 2. における減衰常数からもプランクトンの種別及び魚体各部による放射性物質の選択性が推定されたが，この分析によつてもプランクトンは種別によつて選択する機構を有し，魚類では魚種別より各器官によつての選択性が卓越してることを示している。

之等の β-線エネルギー分布により放射性物質の同定は不可能であるが，参考のため核分裂生成物のある時期における収量 (Yield) を，この表と比較は可能であろう。木村健二郎氏によれば[7] 3 月 1 日の核分裂生成物の収量は U^{235} より Pu^{239} によるものに近いが完全に一致せぬと報告している。現在は U^{238} と考へられているが，U^{238} は Pu^{239} の二分した軽い方の分布が似ている*[17] が U^{238} の収量の表が無い故， Pu^{239} の 40 日後の収量を Coryell, Sugarman[18] の本により各エネルギー分布別に Table 6 の中欄に示した。雨の放射性物質の同定は四手井氏[19] は 1904 年 5 月 16 日の雨に対し，Sr^{89}, Ba^{140},

* 5.1.1. に詳論する。 Fig. 46 を参照されたい。 又 Nows Week 紙， 3 月 21 日 "The Great Levcler", Times 紙 3 月 20 日, "The U-Bomb" にも暗示されている。何れも 1955 年。

エネルギーの分布

半価層　フェザーの到達距離						γ-線成分(%)
8~15mg/cm²	20~25 mg/cm²	380~430 mg/cm²	510~620 mg/cm²	820~860 mg/cm²	920~1000 mg/cm²	
0.3±0.1Mev	0.55±0.05 Mev	0.95±0.1 Mev	1.3±0.1Mev	1.8±0.05 Mev	2.0±0.1 Mev	
+		++	++	+		4.0
++		+		+		5.0
+++						3.6
++++			++			1.8
·	|	++	+			3.0
++++	+	+			+	1.0
++	+	+				2.0
++ Ce^{141}	I^{131}	Ba^{140}かPr^{143}				1.0
+++		+	++			2.1
+++		+				1.6
+++			++			10.0
Ru^{103} (15.6%) Ce^{141} (14 %) Zr^{95} (12.8%) Ce^{144} (2.5%)	I^{131} (3.4%)	Ba^{140} (12.8%) Pr^{143} (11.2%) Nd^{47} (4.8%) Ag^{111} (0.9%)	Y^{91} (6.4%) Sr^{89} (4.4%) La^{140}(0.8%)	Te^{129} (1.7%)	I^{132}(0.6%)	
Zn^{65} , Fe^{59}						

Nb^{95}, Zr^{95} を見出し， Zr^{95} は $5.7\times10^{-2}\mu c\pm20\%/l$ と出している。又筆者は飛魚の肝臓を用いて，一定期間を置いて，Feather 分析を 2 度行い， 物理的に放射性物質を同定した。方法は Fig. 21 及び Fig. 22 に説明してある。その結果，Ce^{141}, I^{131}, 及び Ba^{140} 或いは Pr^{143} の存在を認めた。此等の確認された元素を Table 6 の欄中に記した。

3　化 学 的 方 法

3. 1.　電気透析法による方法

3. 1. 1.　予　備　実　験

諸試料の放射性物質の化学的存在状態を知る一方法として電気透析 (Electrodialysis) を行い，半透膜を透過する物質と不透過の物質に分けた。電気透析法に於いて溶媒中にある元素の内，陽荷電のものは陰極に，陰荷電のものは陽極に泳動し，その間に透析膜を置けば，荷電分子の分子量により透過，不透過が決定する。又透過度は電界を一定にすれば溶媒の pH 及び透析膜の性質によつても異る。従つて先ず陽極には膀胱膜，陰極にはポリエチレン，コロジオン，ゴム，塩化ビニール，セロハンを使用した。溶媒には分子量の異る各種の Ca の化合物を使用し種々の陰極膜と組合せた。その結果を Table 7 に示した。$CaCl_2$ の如き無機塩に対してポリエチレン，塩化ビニールは透過せぬ故，使用出来ない。分子量 200~400 の Ca-化合物にはゴムは一定しない。高分子の Ca-カゼイン (分子量 1.95×10^5) 及び コンドロイチン硫酸-Ca (分子量 $2\sim3\times10^5$) に関してはコロヂオンが一定せず，セロハンは透過しない。従つてセロハンが適当であるとした。この実験中のpHは Table 7 の右欄の通りである。故に陽極に膀胱膜，陰極にセロハン膜を用い，溶

媒の pH＝6.0 以上で，一定電界の元で不透過物質としては， 1) 高分子の錯塩を形成するもの， 2) イオン化しない物質と考へられる。低分子錯塩は透過すると思われるが，限度は不明である。尚使用せる透析槽の直径は 3～5cm であり，その内容は 600c.c. である。

Table 7 Ca 化合物に対する各種陰極膜の透過性

Ca の 化 合 物	分 子 量	透 過 膜		陰極の透過性	備 考
		陰 極	陽 極		
$CaCl_2$	111.00	膀胱膜	ポリエチレン	−	
〃	〃	〃	塩化ビニール	−	
〃	〃	〃	コロヂオン	＋	pH＝3.0～11.0
〃	〃	〃	ゴム膜	＋	
グリコン酸 −Ca	448.39	〃	〃	＋	
パラフエノール，ズルフオン酸−Ca	386.00	〃	〃	＋	
酪酸 −Ca	214.50	〃	〃	＋	
乳酸 −Ca	308.30	〃	〃	＋	10min(＋)
グリセロ酸 −Ca	210.00	〃	〃	∓	{10min(−) 20min(＋)
チオグルマン酸 −Ca	222.24	〃	セロハン	＋	10min(＋)
コンドロイチン硫酸 −Ca	$2～3\times10^5$	〃	コロヂオン	∓	
〃	〃	〃	セロハン	−	pH＝5.4以上
Ca カゼイネート	1.95×10^5	〃	コロヂオン	−	pH＝6.0以上
〃	〃	〃	セロハン	−	pH＝5.8以上

3. 1. 2. 電気透析法の実験と結果

延縄で採れた魚体は魚艇より直ちに母船上甲板に移され，ポリエチレンを敷いた解剖台上で細く各器官にわけられ，純アルコールにて固定し，冷蔵庫に保存し，これを試料とした。死後，固定迄は 3～5 時間であらう。アルコールで固定された試料よりアルコール溶解部を除いた後，エーテルにて抽出し，更に残滓 1gr につき蒸溜水 200c.c. を加へて乳濁液になる迄，充分ホモジナイズして電気透析を行つた。電気的操作は両極に 100 V.D.C. を与へる。透析開始当初は電流が 30 m.A. 程度であり，透析進行と共に電流が減小し，電流が 1 m.A. になつた時をもつて透析終了とし， 之を第 1 フラクションとする。この間の時間は 10～20 時間であつた。次に不透析部に更に蒸溜水を加へ，再び同様な条件で第 2 フラクションを取り，更に第 3，第 4 と行い透析部に放射能の認められぬ迄行う。

又此の透析前後に溶媒の pH を測定した。 pH は略中性を示し，その変化は ±0.2 であつた。次に不透過性部分を東洋沪紙 No. 5 C を用いて沪過し水溶部と不溶部に分ける。次にこれ等を 100°C で乾物とし，磁製ルッボに取り電気炉にて加熱し，徐々に温度を上げ 600°C にて灰化し，白色灰化成分を測定皿に秤取して測定を行つた。之等の操作の概略図を Fig. 27 に示した。試料はカツオ (No. 26 6 月 19 日採取，St. 20) の各器官，胃壁，腸壁，幽門垂，腎臓，精巣，心臓，肝臓及び背肉を使用した。測定は 1954 年 12 月 10 日より 12 月 30 日の間に行はれた。

之等の実験の測定の結果は Table 8 に示した。アルコール可溶区分には心臓を除いて 1～2% を認めた。心臓のアルコール可溶部に 23.5% を数へるのは心臓中にあつた血液のアルコール内への流出によるのではあるまいか。エーテル可溶部に全く放射能が認められぬのは粗脂肪，脂溶性ヴィタミン及び脂溶性色素類に，核分裂生成物にある放射性物質が

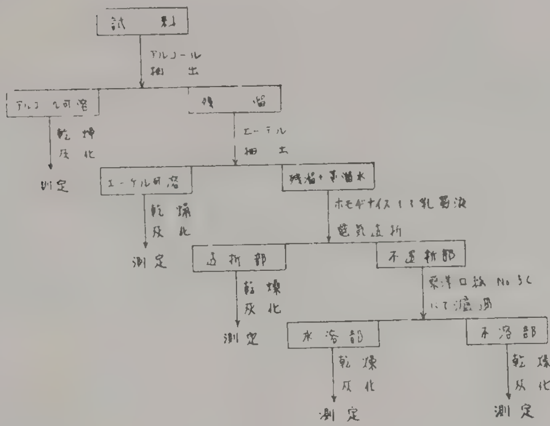


Fig. 27　電気透析法における化学的操作の概略図

Table 8　電気透析法による諸器官の放射能

各器官	アルコール抽出部		エーテル抽出部		透析部		不透析部 水溶区分		不透析部 不溶区分		総計
胃壁	26	1.5%	0	0 %	982	54.5%	536	29.6%	359	14.4%	1799
腸壁	20	1.3%	0	0 %	1336	86.2%	38	2.5%	149	10.0%	1513
幽門垂	15	1.7%	0	0 %	455	50.6%	46	5.1%	382	42.6%	899
腎臓	8	1.0%	0	0 %	277	35.2%	366	46.4%	143	18.3%	794
精巣	2	1.4%	0	0 %	0	0 %	5	1.9%	300	96.4%	311
肝臓	20	2.0%	0	0 %	570	52.0%	275	25.0%	265	23.0%	1130
鰓	2	2.0%	0	0 %	0	0 %	3	1.9%	151	96.7%	156
心臓	35	23.5%	0	0 %	5	3.1%	23	15.5%	86	64.5%	149
背肉	0	0 %	0	0 %	18	75.0%	3	12.5%	3	12.5%	24

但し　欄中　右は　新鮮物 1g に換算した cpm
　　　　　　左は　各器官の百分率を表はす

沈着しないことを示している。透過性のものが胃壁に55%，腸壁に86%，幽門垂に50%ある。之は胃内容物* の大部を占める不透過部が胃内の消化作用によつて透過される物質に代へられ，更に胃内でその分解が促進されると考へる。幽門垂は消化液分泌器官として酵素性が強いので腸に於いて吸収すべき透過性物質(可溶性の形態)を貯蓄すると推定すれば，器官の一般的機能と矛盾しない。腎臓は肝臓より不透過性物質，即ち沈着する部が多いことを示している。背肉は透過性区分が75%を示し，一部分は高分子との結合と考へられる。精巣及び鰓に透過性物質が全く無い。鰓は海水の流通が激しいので，イオン化し

* Table 8 に示さなかつたが，胃内容物（主として橈脚類）の透析部は 30% で不透析部 70% であつた。

た放射性物質及び可溶性の低分子錯塩は海水に流出すると考へられる。精巣では精巣蛋白（例へばヒストン）と強く結合していると推定される。

3.2. イオン交換法による分属

3.2.1. β-線の吸収曲線とイオン交換法

電気透析法によつて得られた試料，即ち透析部，及び不透析部の水溶区分，不溶区分の放射性物質の同定をイオン交換樹脂を使用して実験を行う以前に，Feather の分析により試料の β-線エネルギーの決定をなすべきであるが，放射能が極めて弱いので困難である。従つて単にアルミ板に対し吸収曲線を画き，その様相より質的に検討した。試料としては 3.1.2. における中より，胃壁，腸壁，幽門垂，鰓及び腎臓の透析部及び不透析部の不溶区分を用いた。之等の結果を Fig. 58 に示した。Fig. 28 では予め γ-線成分と

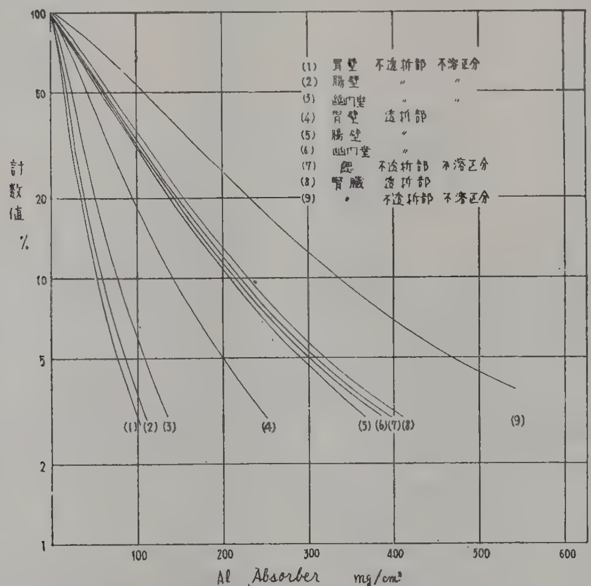


Fig. 28　電気透析後諸試料の Al-板による吸収曲線 γ-線成分を差し引き百分率にしたもの

考へられるものを差し引き，吸収板なしの計数を 100% として百分率をもつて縦軸に表はした。之によれば胃壁，腸壁は不透析部の不溶区分において一致し，少し離れて幽門垂の不透析部がある。透析部では胃壁は若干異るが，腸壁及び幽門垂は似ており，之等に又腎臓の透析部と鰓の不透析部が入る。腎臓の不透析部はこれらの群から離れている。従つて異質的な放射性物質を有すると推定される。胃壁，幽門垂及び腎臓を代表としてイオン交換法による分属の試料とした。

イオン交換法に用いた樹脂は陽イオン交換樹脂アンバライト IR-120 であり，粉末の大さは直径 0.5～0.6mm である。樹脂は水濟で 4 N-HCl を用いて H 型に変へられた後に，樹脂柱の底部にグラス・ウールをつめたパイレックス硝子の樹脂柱（直径 5mm. 長さ 130mm）につめられた。樹脂柱は 4 N-HCl で洗滌してから過剰の HCl を完全に取り除くため水で洗つた。Tompkins[20] 及び木村氏[7] その他の方法に基いて，試料を電気炉にて 600°C で灰化し，塩酸に溶解し乾固した後，0.2 N-HCl の酸性溶液として樹脂層を 0.5c.c./min の流速で通した。続いて 0.5% 蓚酸，5% クエン酸アンモン (pH 3.53, 4.18, 4.60, 5.02, 5.63, 6.40) の各種溶離液で順次溶離を行い，得られた溶出液を夫々 20c.c. 毎に分割採取し，濃縮して試料皿に移し，更に乾固して放射能を計測した。之等の操作を次の Table 9 に示す。

Table 9

溶離順	溶離液		溶離される物質
1	0.2 N HCl		アニオン　中性元素 (Te, I, Ru-Rh)
2	0.5% 蓚酸		ラヂオコロイド (Zr-Nb, U)
3	5% クエン酸アンモン	pH 3.35	稀土類元素 (La, Ce, Y, Pr, Nd, Pm)
4	〃	4.18	Zn*
5	〃	4.60	
6	〃	5.02	アルカリ土金属 (Ca)
7	〃	5.63	アルカリ土金属 (Sr, Ba)
8	〃	6.40	

3. 2. 2. イオン交換法による実験結果

上記の試料の他，肝臓の透析部（クエン酸アンモン pH=4.18 以下実験失敗），又電気透析を行はずカツオ（上記の試料の魚体）の第一背椎骨，及び橈脚類（コペポーダを主とす）を灰化し塩酸にて処理した後，イオン交換法によつて分属した。実験は 1954 年 1 月 10 日より 30 日迄行はれた。之等の分属した後，吸収曲線及び崩壊曲線より，含まれている放射性物質を物理的に決定する必要があるが，放射能が極めて弱いため行へなかつた。之等全ての溶離曲線は Fig. 29～Fig. 32 に画いた。尚クエン酸アンモン pH=6.40 で溶離終了後，樹脂を灰化し，試料皿にとり測定の結果，胃の透析部においては 10cpm，不透析部の不溶区分においては 7 cpm であつた。従つて試料中に含まれている放射性物質の大部分 (95% 以上) は溶離されていることが判つた。又同じカツオの筋肉のイオン交換法による溶離曲線を山田その他の論文[21] より転写した (Fig. 33)。

放射能の認められたフラクションは 0.2N-HCl，0.5% 蓚酸，5% クエン酸アンモンの pH3.53, 4.18, 5.63, の 5 箇所である。此等の箇所の放射性物質は木村その他[7] 及び石橋その他[10] の論文に従へば，Table 9 の右欄の括弧内に記入した如く，0.2N-HCl のフラクションには Te, I, Ru Rh. 0.5% 蓚酸フラクションには Zr, Nb, U 及び Fe**. 5% クエン酸アンモン pH 3.53 は La, Ce, Y, Pr, Nd, Pm その他の稀土類元素群，pH 5.63 は Sr. Ba と考へられる。pH=4.18 は山田その他[21] 及び佐伯その他[22] の論文より Zn^{65} と確認された。山田その他はカツオの筋肉を用いて，イオン交換法により

* 5% クエン酸アンモン pH=4.18 のフラクションに Zn が確認させれる。(文献 (21) (22) 参照)

** Fe の存在は後記のペーパークロマト法により筆者が確認した。3. 3. 2. を参照

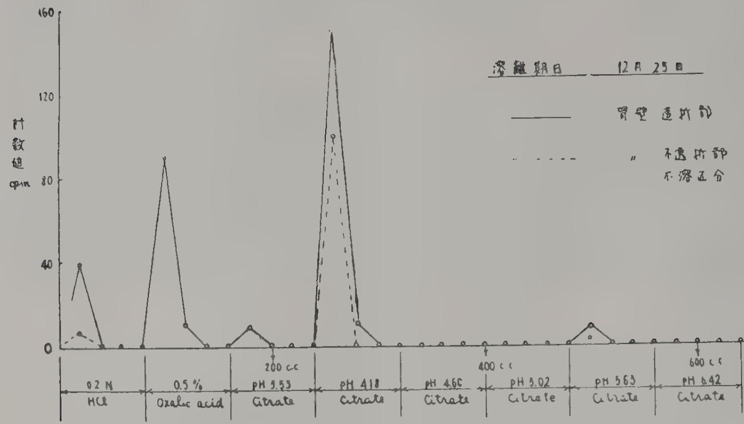


Fig. 29　　イオン交換樹脂による胃壁の放射性物質の分離

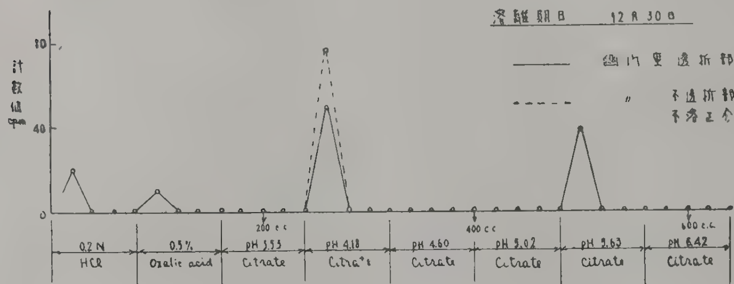


Fig. 30　　イオン交換樹脂による幽門垂の放射性物質の分離

pH 4.18 フラクションにあつた放射性物質を定性分析を行つた結果，放射性物質は Ⅲ 属に入り，更にアルミ亜属の亜鉛フラクションに入つた。之を又放射性同位元素 Zn^{65} の吸収曲線を比較して Zn^{65} の存在を確認した。その上放射性同位元素 Zn^{65} を用いて Zn^{65} は pH=4.18 で良く溶離されることを示し，pH. 4.18 フラクションの試料に Zn^{65} を加へイオン交換樹脂にて再溶離を行い，その結果，加へた Zn^{65} と全く分離出来ない溶離曲線を得た。佐伯その他は汚染した魚類の各組織を放射線定性分析を行い，ⅡB 亜属に対し，シンチレーション計数管を用いて γ- 線を検知し，同位元素 Zn^{65} と γ- 線エネルギーを比較して ⅡB 亜属中に Zn^{65} を確認した*。

* 筆者も同様な方法でシンチレーション計数管にて Zn^{65} を再確認した。

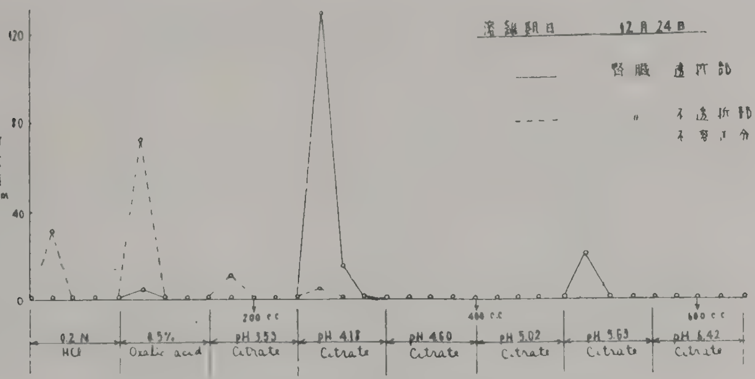


Fig. 31　イオン交換樹脂による腎臓の放射性物質の分離

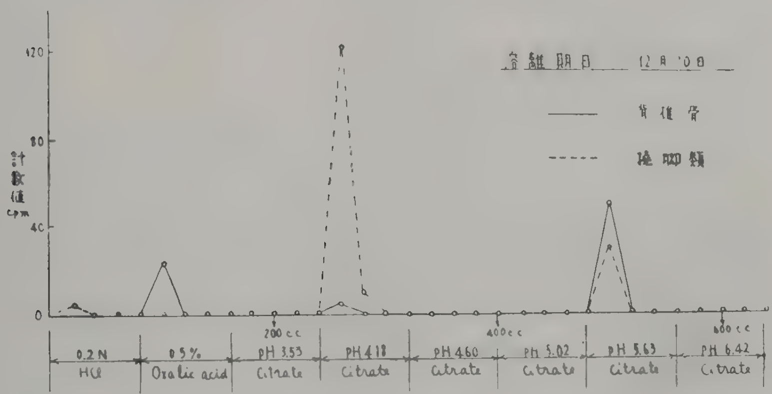


Fig. 32　イオン交換樹脂による背椎骨と撓脚類の放射性物質の分離

Fig. 29 より胃壁の透析部は Zn^{65}, ラジオコロイド, アニオンの順で放射性物質を含んでいる。之に反し不透析部の不溶区分の大部分は Zn^{65} である。Fig. 30 より幽門垂は透析部において Zn, アルカリ土金属, アニオン, ラヂオコロイドの順に放射性物質を含み, 不透析部の不溶区分は胃壁と同様に Zn^{65} が大部分を含める。腎臓は Fig. 31 からも判る如く, 様相を異にして透析部の大部分が Zn^{65} であり, 胃壁, 幽門垂の不透析部に似ており, 不透析部の不溶部は Zn^{65} が殆んどなく, ラヂオコロイドが多く, アニオン, 稀土類元素を若干含んでいる。Fig. 33 より筋肉では Zn^{65} が多く, ラヂオコロイドが若干で其の他は無い。Fig. 32 によれば背椎骨は大部分がアルカリ土金属で, 一部にラヂオコロイドが認められる。肝臓の透析部は Zn^{65}, 稀土類元素, ラヂオコロイドの順であるが, 稀土類元素とラヂオコロイドは略等量である。尚肝臓では pH 4.18 フラクション以上

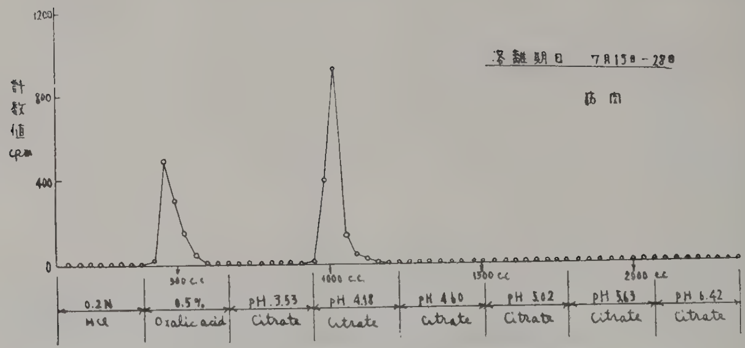


Fig. 33 イオン交換樹脂による筋肉の放射性物質の分離

では実験失敗のためアルカリ土金属の存否は不明である。撓脚類では Zn^{65} が多く，僅かにアルカリ土金属を認める。

3. 3. ペーパー，クロマトグラフによる分析

3. 3. 1. ペーパー，クロマトグラフの実験方法

3. 2. 2. においてイオン交換樹脂を用いた分属したものの中で 0.2 N–HCl フラクションではアニオン群中，Te, I, Ru, Rh, 等々，0.5% 蓚酸フラクションではラヂオコロイド

Table 10 ペーパー，クロマトグラフ Oxine-$CHCl_3$ による放射性物質の分離

溶媒 : Oxine – $CHCl_3$								
	0.2N-HCl		0.5% 蓚酸		対照 $Fe^{59}Cl_3$		石橋その他の表	
切片番号	計数値	Rf	計数値	Rf	計数値	Rf	元表	Rf
20	0		0		0		Ce–Pr	Rf≒0.92
19	0		0		0		Zr–Nb	Rf≒0.88
18	0		24	Rf ≒0.87	0		Ce–Pr	Rf≒0.83
17	0		51		0			
16	0		0		0			
15	0		0		0			
14	0		0		0			
13	0		0		0			
12	0		0		0			
11	0		0		0			
10	0		0		0			
9	0		0		0			
8	0		0		5	Rf ≒0.34	Ru–Rh	Rf≒0.39
7	0		8	Rf ≒0.34	152			
6	9	Rf ≒0.26	3		38			
5	18		0		0		Ru–Rh	Rf≒0.24
4	1		0		0			
3	0		0		0			
2	0		0		0			
1	0		0		0			
計	28		86		195			

Table 11　ペーパー，クロマトグラフ　EtOH-BuOH-11%NH_4CNSaq
による放射性動物質の分離

溶　媒　：　EtOH-BuOH-11%NH_4CNSaq
5　:　5　:　2

切片番号	5%クエン酸アンモン pH 4.18 計数値cpm	Rf	5%クエン酸アンモン pH 5.63 計　数　値	Rf	対称：$BaCl_2$ $SrCl_2$. $ZnCl_2$ 元素	Rf
20	0		0			
19	0		0			
18	0		0			
17	0		0			
16	0		0			
15	23	Rf ≒0.72	0		Zn^{++}	Rf≒0.75
14	58		0			
13	13		0			
12	0		0			
11	0		0			
10	0		15	Rf ≒0.72	Sr^{++}	Rf≒0.48
9	0		8			
8	0		0			
7	0		0			
6	0		0		Ba^{++}	Rf≒0.32
5	0		0			
4	0		0			
3	0		0			
2	3	?	2	?		
1	8		3			
計	105		28			

群中，Zr, Nb, U, Fe, 等々，5% クエン酸アンモンフラクションでは pH 5.63 のアルカリ土金属群で，Sr，Ba 等々を区別出来ない。又上記の元素以外未知のものも考へられる。

従つて放射能の比較的強く，之等全てのフラクションを持つ，胃壁及び幽門垂の透析部を試料としてペーパークロマトグラフを行つた。クロマトグラフは各々の試料の HCl 溶液を濃縮して，約 0.05ml を東洋沪紙 No. 52 の下から約 6cm の高さに付け，沪紙の下端 1cm を溶媒に浸す上昇法により展開した。展開後は沪紙を乾燥し，原点と先端を 20 等分して切断し，ルツボにて灰化し，蒸溜水にて処理し，試料皿に入れ放射能を測定した。此等の実験は 1954 年 1 月 20 日より 1 月 31 日迄の間に行はれた。

溶媒として Oxine-$CHCl_3$ と ExOH-BuOH-11%NH_4CN_{aq} を用いた[23]。Oxine-$CHCl_3$ はオキシンが 2% になる迄で $CHCl_3$ に溶かした。試料としては胃壁の透析部の 0.2 N-HCl フラクション及び 0.5% 修酸フラクションを使用して，展開は 20°C～22°C で 4 時間行つた。対照としては，Te, Ru, Rh, Zr, Nb は使用出来なかつたが，ラヂオコロイドの区分に Fe の放射性元素が含まれているか，否かを確めるため放射性同位元素 Fe^{59} を用いて $Fe^{59}Cl_3$ を作り，同じ条件で展開した*。之等の実験の結果，対照実験及び同じ溶媒を使用した石橋其の他[24] の実験報告を Table 10 に併記した。次に EtOH-BuOH-11% NH_4CNS_{aq} を 5:5:2 の割合の溶液を溶媒として，幽門垂の透析部の 5

* ラヂオコロイド，フラクションをシンチレーション計数管でエネルギーを測定するとき，Fe^{59} の γ-線 (1.10Mev 1.30Mev) と同程度のエネルギーの γ 線が認められた。

% クエン酸アンモン pH=4.18 及び pH=5.63 のフラクションを用い 20°C〜23°C の室温で 5〜6 時間展開した。 pH=4.18 を使用したのは Zn^{65} の再確認のためである。対照としては $BaCl_2$, $SrCl_2$, 及び $ZnCl_2$ を用いて同じ条件で展開した。実験結果は Table 11 に示した。

3. 3. 2. クロマトグラフによる結果

Table 10 より明らかな如く 0.2 N-HCl フラクションにおいては，Rf≒0.26 附近に一つの峯 (peak) を示した。之を石橋氏の実験と比較すれば（石橋氏他の実験では Rf=0.24) Ru-Rh に相当すると推定される。 5％ 蓚酸フラクションでは二つの峰が表はれた。 Rf≒0.87 及び Rf≒0.34 であり，前者は石橋氏の表と比較して Zr-Nb に相当ある。因みに Ce-Pr はこのフラクションには入らない。後者は石橋氏の表では Ru-Rh に対応するが，このフラクションには Ru-Rh は入らず，対照実験の $Fe^{59}Cl_3$ の存在する峰に対応する。従つて之は放射性元素 Fe の存在によると考へて良いであろう。

次に Table 11 に示す如く対照実験にて Zn^{++}, Sr^{++} 及び Ba^{++} の Rf の価は各々 0.75, 0.48 及び 0.32 であることが判明した。pH=4.18 のフラクションでは峰は約 Rf=0.72 に表はれ，若干原点に残つた。前者は大部分 Zn と考へて良く，僅か一部 (10% 程度) は核分裂後 240 日において未知のものが混入していると思はれる。次に pH=5.63 のフラクションに於いては峰は Rf≒0.48 に表はれ，Rf の価から Sr と考へられ， Ba の存在はこの実験時期においては認められない。又原点附近に若干の放射能があるが，Sr^{90} の娘核子としての Y^{90} であるか，或いは他の元素による放射能によるかは不明である。此等の放射能を極めて弱いため，吸収曲線及び減衰曲線の測定は行はなかつた。

4 X-線・電子線及びオウトグラフ (Radioautograph) による研究

4. 1. X-線・電子線による解析

4. 1. 1. X-線・電子線による方法

一般に放射性陽イオンが比較的簡単に無機化合物で体内に取り入れられる場合，特に骨或いは橈脚類の殻を形成する時，それ等はイオン交換作用，コロイド性沈着，或いは混合結晶の再形成等である。 3. 2. 2. 及び 3. 3. 2. において筆者はカツオの背椎骨及び橈脚類中に特に Sr 及び Zn を多く確認した。之等の放射能を有する Sr 及び Zn が多量摂取された場合には結晶を形成するに到る。即ち骨の無機成分の殆んど大部分が $Ca_3(PO_4)_2$ 及び $CaCO_3$ であるので Sr は $Sr_3(PO_4)_2$ 及び $SrCO_3$ の形になる筈である。結晶状態の決定には X-線・電子線による解析が望ましい(25)。結晶体は構成する原子が規則正しく配列しているので，一定波長の X-線・電子線をあてれば Bragg の反射式

$$2d \sin \theta = n\lambda \tag{13}$$

の条件に従つてその結晶特有に反射される。従つて未知物質の X-線粉末写真を取り，既知のものと比較して未知の結晶形を決定することが出来る。この方法より Sr 或いは Zn と結びつく結晶形の存在を判定する。

X-線撮影に利用したカメラ半径は 114.6mm ; 40kv, 20m. A. で銅の対陰極 (Cu-Kα—

1.5418Å）を用い，30 分間露出した。電子線廻析は日立中央研究所試作の超高圧電子線回折装置を使用し，155k.v. 160k.v，200k.v，250k.v の各段階で撮影した。この際同時に金箔の廻折線を取り電子線の波長を決定した。

4. 1. 2. X-線・電子線解析の結果

試料としてはカツオ (No. 26) の第一背椎骨を乾燥し粉末とした (420cpm/0.7g 1954 年 12 月 1 日に測定，表面のみの放射能の測定の結果で，灰化すれば計数は増加することは明らかである)。又全く放射能を含まぬ市販のカツオの背椎骨を乾燥後粉末にして対照として用いた。此等を試料として X-線粉末写真及び電子線廻折写真をとり比較検討した。

Table 12 カツオ (No.26) 及ば対照のカツオ（非放射能）の X-線粉末及び電子線写真廻折線

X-ray				Elec. diff		*			
Bikini		non-radio.		Bikini	non-radio	$Ca_3(PO_4)_2$		$CaCO_3$	
d in Å	I	d in Å	I	d in Å	d in Å	p in Å	I/I_1	d in Å	I/I_1
6.56	www					6.6	0.10		
5.34	www					5.2	0.15		
4.05	www			4.15	4.16	4.11	0.10		
				3.75	3.76			3.86	0.08
3.47	www	3.49	www	3.39	3.42	3.47	0.20		
3.19	s	3.20	w			3.22	0.63		
3.03	s	3.02	w	3.03	3.01			3.04	1.00
2.87	s	2.87	s	2.85	2.83	2.89	1.00		
2.78	www	2.81	www	2.77	2.76	2.78	0.15		
						2.62	0.75		
2.50	www	2.53	www	2.48	2.49	2.54	0.10		
		2.46	www	2.37	2.38			2.49	0.20
2.38	www	2.40	www	2.26	2.26	2.42	0.15		
2.28	www			2.22		2.27	0.20	2.28	0.24
2.22	www			2.07	2.10	2.20	0.15		
2.08	w	2.13	www			2.09	0.15	2.09	0.24
					1.93	2.02	0.15		
1.91	ww			1.87		1.94	0.31	1.92	0.32
1.87	www				1.83	1.90	0.25	1.87	0.20
				1.76	1.75	1.83	0.15		
1.78	www					1.79	0.15		
1.74	w			1.67	1.68	1.74	0.50		
1.71	www					1.69	0.10		
				1.62	1.62	1.64	0.08		
1.59	www					1.61	0.10	1.60	0.16
1.58	www			1.51	1.53	1.56	0.22		
1.51	www							1.51	0.12
1.47	www			1.42		1.47	0.05	1.48	0.05
1.43	www					1.42	0.07	1.44	0.08
1.39	www					1.39	0.05	1.43	0.05
1.33	www							1.35	0.03
1.29	www			1.27		1.32	0.03	1.30	0.05
1.27	www			1.23		1.26	0.10		
				1.17		1.23	0.05	1.24	0.03
1.19	www					1.19	0.05	1.18	0.03
1.16	www					1.16	0.05	1.15	0.05
				1.10		1.13	0.15		
1.10	www			1.08		1.10	0.05		
1.07	www					1.06	0.03		
						1.04	0.07	1.05	0.06
1.02						1.02	0.05	1.01	0.03

*Cited from "Chemical Analysis by X-ray Diffraction" by J. D. Hanawlt, et al. Ind. Eng. Chem. Anal., Ed., 10, 1938.

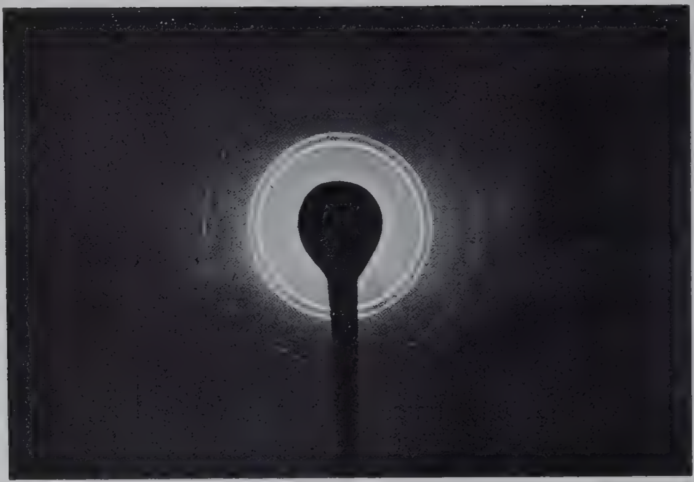


Fig. 34 カツオの背椎骨の電子線廻折図 (160kv)

此等の結果を Fig. 34 及び Table 12 に示した[26]。此等から明らかな如く放射能を有するカツオの背椎骨にも対照のカツオの背椎骨にも $Ca_3(PO_4)_2$ 及び $CaCO_3$ (Aragonite) の廻折線を示すのみで，その他の物質の結晶の線を示していない。従つて放射性元素の Sr が骨にたとへ結晶形の形で沈着しているとしても，X-線・電子線の廻折線を明瞭に表はす程度の量には存在していないことを示している。

次に撓脚類は 3. 2. 2. において Zn が放射性物質として大部分であることを述べた。カツオの背椎骨の場合と同様な目的で X-線粉末法により解析を行つた。この場合は俊鶻丸で採取した如き海洋性の大型の撓脚類は当研究室近辺に於いて採取出来ない故，対照の撮影は行はなかつた。X-線粉末法による解析結果は Table 13[26] に示す通りで，NaCl と $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (Gaslarite) の廻折線が得られた。Vinogradov[27] によれば，撓脚類の体液中には Na，及び Cl は C 及び N に次ぐ成分であると報告されているが，廻折線の NaCl は試料に附着した海水が乾燥して結晶したものと思はれる。次に $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ は，撓脚類の化学組成に関する研究が少く，又対照の廻折線が得られぬ為に断定することは困難であるが上記の Vinogradov 及びその他の報告によつても Zn の存在は記載されていない。又海水中にも Zn の量も極めて低く，海水中より附着した Zn の結晶とは考へられない。核分裂の際に海水中に入つた Zn が選択的に撓脚類に摂取されたと推定する。その場合無機塩の形の Zn が体内で遊離し，海水中の SO_4 と結合したか，体内で一度有機物と結合した Zn が再遊離して SO_4 と結合したかの決論は出来ない。結晶水の $7H_2O$ は試料を乾燥の際に $ZnSO_4$ が結晶水を得て $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ の結晶を生成したものと推定される。廻折線に認められる程度の結晶は相当量の Zn を選択的に摂取したことを表はしている。

Table 13 撓脚類の X-線粉末写真廻折線

Copepod d in Å	I	NaCl* d in Å	I/I_1	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$* d in Å	I/I_1
4.23	w			4.20	1.00
3.75	www			3.76	0.20
3.44	ww			3.44	0.30
3.28	www			3.30	0.04
3.13	www			3.14	0.02
2.96	www			2.99	0.12
2.81	s	2.81	1.00		
2.30	www			2.25	0.20
2.20	ww			2.20	0 25
2.08	www			2.08	0.20
1.99	s	1.99	0.83		
1.95	www			1.95	0.12
1.70	www	1.70	0.02	1.71	0.08
1.63	w	1.63	0.33	1.63	0.14
1.41	www	1.41	00.1		
1.38					
1.26	w	1.260	0.03		
1 15	www	1.150	0.20		
0.997	ww	0.997	0.30	1.385	0.04

* Cited from "Chemical Analysis by X-ray Diffraction" by J. D. Hanawalt. Ind. Eng. Chem. Anal, Ed., 10, 1938.

4. 2. ラヂオオウトグラフによる研究

4. 2. 1. オウトグラフの実験方法

ラヂオオウトグラフに使用せる試料はカツオ (No. 26) を使用した。3. 1. 2. に述べた如く，カツオは捕獲後，各器官に解剖され純アルコールにて固定された。死後 3～5 時間後と推定される。魚体各部中，肝臓，心臓，精巣，背肉，皮膚，胃壁，腸壁は生物学普通の方法にて標本スライドを作成した。即ち試料をパラフインに埋没し，ミクロトームにて切片 (15μ) を作り，スライド硝子の上に貼り，ヘマトキシン．エオジンにて染色後，キシロールにて脱パラし，セロイジンの 1％ のエーテル・アルコール浸漬した。標本は一昼夜放置してセロイジンを充分固めた。之等の標本はストリツピング露出 (Stripping Exposure) の方法[28][29]を使用し，ストリツピング用乾板 (Fuji ET2E 15μ) を用いて露出した。上記の標本以外に撓脚類(コペポーダ)を一匹づつスライドに截せ，ストリツプの方法を用いた。同じカツオの第一背椎骨を輪切りしてカナダバルサムにてスライドガラスに固縛し，砥石にて約 3mm の厚さに平滑化し，セロハン紙を 1 枚おいてコンタクト露出 (Contact Exposure) を行つた[29]。使用せる乾板はコンタクト用乾板 (Fuji ET2E 15μ) であつた。露出の際，機械的圧力の加はらぬ様，約 3mm のゴムを両端に狭んだ。此等全ての標本の β-線の計測値は 10cpm より 100cpm の間にあつた (1954 年 9 月 5 日測定)。

露出は 1954 年 9 月 7 日より 30 日間で，光密デシケータに入れ地下室に保存した。地下室の温度は 5°C～10°C であつた。現象は富士レンドール現象剤を用いて，現液のまゝ 20°C で 3 分間行つた。定着は富士フイックス定着剤を用いて 20°C で 15 分間行つた。現像銀粒子が偽効果によるかを調べる為に，先ず圧力効果[30]を考へ，油浸 1000 倍

の顕微鏡にて観察し現像銀粒子が標本の表面層にあるかを調べた。標本スライドの中で，銀粒子か乳剤膜の表面にあり，標本の直上より多いと見做されるものは圧力効果に起因するものとして廃棄した。次に標本スライドは全て，標本組織の上に無い乳剤上の黒化銀粒子のある部分と，標本組織直上の乳剤中にある黒化銀粒子のある部分を任意の 5 ケ所と背影 1 ケ所を $100\mu^2$ の面積をとり 1000 倍の顕微鏡下で黒化銀粒子を計数した(31)。そして危険率 5% の棄却限界法により検定を行い，背影カブリ (Back ground fogging) の多いものは廃棄した。

4.2.2. オウトグラフによる各部の観察

ミクロオウトグラフの観察は顕微鏡 100 倍，200 倍，400 倍で行はれた。

胃壁：黒化銀粒子は絨毛の先端より下部まで細胞上に多数あつて，細胞の形に一致している。粘膜固有層においては中部より基底部にかけてかなり多い。粘膜下組織では淋巴腔の周辺に集団的に集まつている。筋層では淋巴腔の周囲に多く，血管壁にはあまり無い。Fig. 35 及び Fig. 36 は粘膜固有層と粘膜下組織の部分を示している。(100倍及び 400倍)

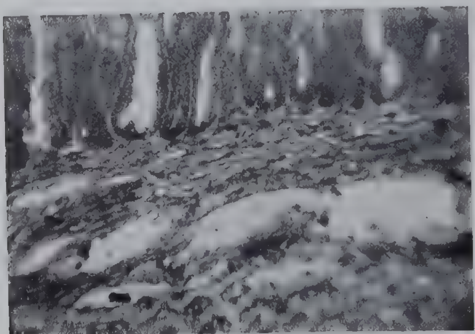


Fig. 35 胃壁のオウトグラフ (×100)

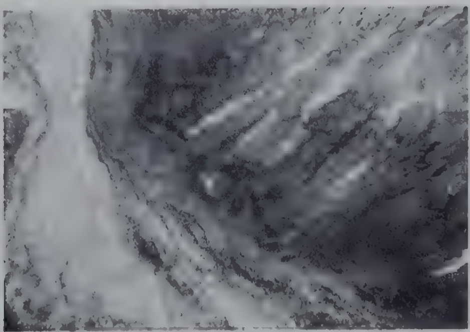


Fig. 36 胃壁のオウトグラフ (×400)

腸壁：胃壁と同様に絨毛及び粘膜固有層にかなり強く，特に粘膜固有層の基底部における絨毛に強く附着している。Fig. 37 に示した。(400 倍)　粘膜下組織では粘膜に近い淋巴腔の壁に強く分布している。筋層は筋繊維周辺にかなり多い。Fig. 38 は主として筋層の部分を示す。(400 倍)

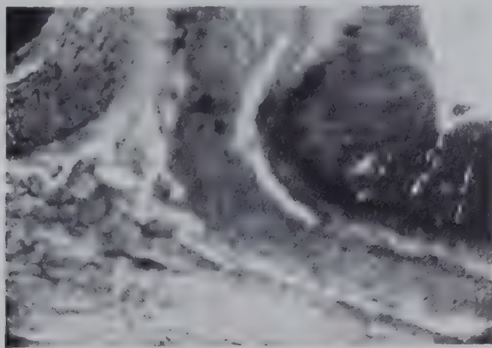


Fig. 37　腸壁のオウトグラフ (×400)



Fig. 38　腸壁筋層のオウトグラフ (×400)

筋肉：筋肉では筋繊維細胞の形に沿って，又筋繊維核に周辺に[illegible]。横紋筋の横紋の暗部の縞の上に見られ，明部には全く認められない。横紋の変成している所には更に強い黒化銀粒子が認められた。Fig. 39 は筋繊維の部分を示し，倍率不足の為に横紋の暗部の黒化銀粒子は見えない。(200 倍)

心臓：筋繊維に一体に黒化銀粒子が見られ，淋巴腔及び[illegible]好酸球の周辺に見られる。特に一個所であるが強く沈着している所が見られた。Fig. 40 に示す。(400 倍)

皮膚：上皮細胞にはそう多くない。上皮層結合組織の部分に中程度に存在する。皮下組織では拡張した淋巴腔の周辺に多い。

鰓：鰓では鰓瓣片に中程度に，一体にあるが，特に屈曲部に多い様に思はれる。Fig.

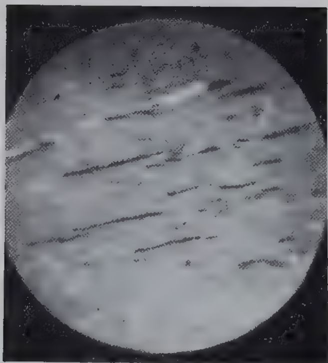


Fig. 39　背肉のオウトグラフ (×200)

41 に示す。(100 倍)

腎臓：腎小体にウツ血があり，多数の黒化銀粒子が集まつておる。細尿管壁に沿うて高度の黒化が認められ，又管壁の細胞にも認められる。

肝臓：全体的に多い。肝小葉に於いて，肝細胞索の上に一様に並び，周辺部へ向つて更に強く沈着している。小葉間質の血管の周辺及び血管中に壊れた赤血球があり，この上にはかなり強い。然し中心動脈の上には少ない。特に小葉間質の上で α- 線の飛跡が数本認められた。 Fig. 42 に示してある如く，600 倍の顕微微にて数本見え，鏡微顕の対物レンズを上下することにより更に明確に認められる。即ち飛跡はス

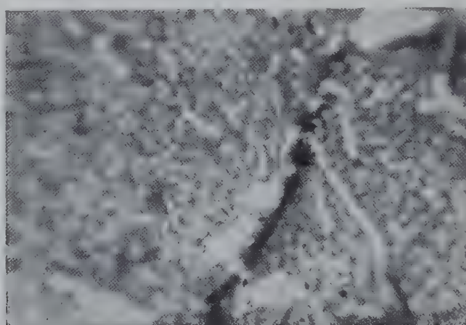


Fig. 40　心臓のオウトグラフ (×400)

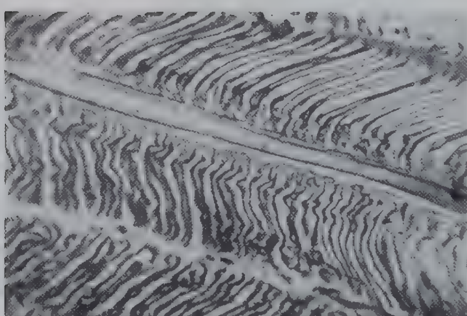


Fig. 41　鰓のオウトグラフ (×100)

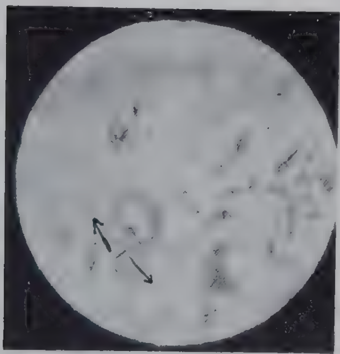


Fig. 42　肝臓のオウトグラフ
↗が×の飛跡 (×600)

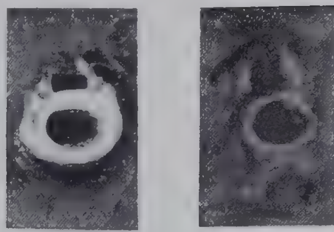


Fig. 43　背椎骨のオウトグラフ
右　オウトグラフ暗視野
左　実物大の背椎骨

ライドガラスの中より出ておらず，肝臓の標本にのみ認められた。従つて背景の α 粒子 (Back ground に存在する天然の α-粒子) とは考へられない*。

精巣：上皮の原始細胞より，精原細胞の周辺に一様に黒化銀粒子が見られた。

背椎骨：圧力効果による偽効果を充分確めた後，背椎骨の内側及び背髄に相当する部分より乾板の黒化現象が認められた。Fig. 43 は暗視野で示したオウトグラフである。左例は実物大の背椎骨である。

橈脚類(コペポーダ)：コペポーダは低倍率顕微鏡 (40 倍) で見た所，節々の廻りに黒化銀粒子が認められたが，特に口辺が最も強く黒化していた。

5　綜合的考察

5. 1.　海水中の放射能

5. 1. 1.　U^{238} の核分裂とその主成物

東大木村健二郎氏その他(7) は第 5 福竜丸の灰の分析の結果，核分裂生成物の収量は Pu^{239} に似ているが(32)，一致はしていない**。又その中より U^{237} を確認された。又京大石橋雅義氏その他(10) は同じ灰より U^{237} を確認された。然して U^{237} の β-線が原水爆爆発後 25 日で灰全部から放出する放射線量の 20% を占めていた。U^{238} と Pu^{239} は軽い方で似ているし，重い方で必ずしも一致はしない。木村氏の分析結果を U^{238} の分裂と考へても差支つかいは無い。又 U^{237} は U^{235} からは容易に誘導出来ないし，Pu^{239} からも殆んど生れない。そこで U^{237} は U^{238} が速中性子を吸収して別に中性子 2 個を放出して出来たものと推定した。その機構の一つとして(17)

$$_3Li + {}_1H^2 \rightarrow {}_0n^1 + {}_4Be^8 + 17Mev \quad {}_4Be^8 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4$$

---

* 尚 α-線を出す物質の推定はその飛跡その他より不可能ではない。5. 1. 1. を参照

** Fig. 44 に U^{235}, U^{238} 及び Pu^{239} の分裂生成量と質量数の関係のグラフを示した。

で出来た高速中性子 (17 Mev) が U^{238} は衝突して

$$
\begin{array}{ccccccc}
 & \uparrow\gamma\ \uparrow n & & \uparrow\gamma\ \uparrow n & & \uparrow\gamma\ \uparrow n & \uparrow \\
{}_0n^1 + U^{238} & \cdots\rightarrow & U^{237} & \cdots\rightarrow & U^{236} & \cdots\rightarrow & U^{235} \\
(23\text{Mev}) & & (16\text{Mev}) & & (\ \ \text{Mev}) & & (\ \ \text{Mev}) \\
\downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \\
\text{核分裂} & & \text{核分裂} & & \text{核分裂} & &
\end{array}
$$

(* は動起状態を表はし，括弧内は励起エネルギーを表はす) の形で核分裂が行はれたと推定もありうる。

又木村氏は灰中に α- 粒子を見出し，定性分析と α- 粒子の飛跡の長さから Pu^{239} よりの放出と見なしている[17]。筆者は 4.2.2. に述べた如く，カツオの肝臓の標本スライド中に α- 粒子を発見した。之は $100\mu^2$ 中に平均数本見出された。顕微鏡の焦点移動より，之等の α- 粒子の飛路の長さを測定した。飛跡の明瞭なるもの，標本の上から出て乳剤中で飛程を終へたと認められるもの 28 個を選んで飛跡の数と飛跡の長さをヒストグラム (Fig. 45) に画いた。之から見ると α 粒子のエネルギーは Pu^{239} より低く，Np^{237}, AcU^{235} 及び U^{238} に近いのではないか*。寿命の点から言へば AcU^{235} 及び U^{238} は莫大な量でなければ検出困難であろう。Np^{237} とすれば U^{237} の β-崩壊によつて生成されたと考へて良かろう。

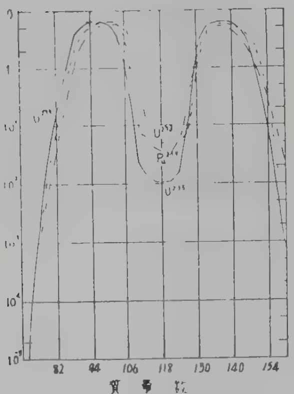


Fig. 44　U^{235}, U^{238}, Pu^{239} の核分裂生成量と質量数

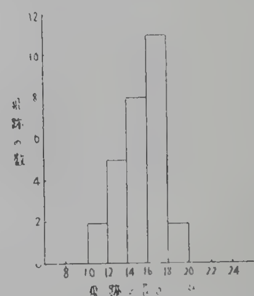


Fig. 45　肝臓に見出された α-線の飛跡の数と長さの関係

3. 2. 2. 及び 3. 3. 2. にて Zn^{65} 及び Fe^{59}** の存在が確認された。Zn^{65} も Fe^{59} も原子番号が 30 及び 26 の点から核分裂生成物としては少いのである (Fig. 44 を参照)。従つて之等は核分裂の際の α 粒子，陽子，重陽子及び中性子による二次誘導放射性物質と考へられる。実現されそうな反応は次

---

*

元素	乳剤中の飛跡	エネルギー	半減期
Pu^{239}	22.5μ	5.15Mev	$2.4.10^4$y
Np^{237}	18.0μ	4.77Mev	$2.2.10^5$y
AcU^{235}	18.0μ	4.5[illegible]Mev	$8.9.10^8$y
U^{238}	16.0μ	4.18Mev	$4.5.10^9$y

乳剤中の飛跡[33] は Fuji ET-2E 乾板を Ilford C_2 と略同じ組成とした。尚このエネルギー決定の際の乳剤膜の縮み (Shrinkage) に関してはグリセリンを浸したが，尚若干の縮みは不明。

** Fe^{59} としたのは β-線と γ-線を共に放出する Fe の他の同位元素はない。

の如くなる。

Zn^{66} (n, 2n) Zn^{65}	Fe^{58} (d, p) Fe^{59}
Zn^{64} (n, γ) Zn^{65}	Fe^{58} (n, γ) Fe^{59}
Zn^{64} (d, p) Zn^{65}	Co^{59} (n, p) Fe^{59}
Cu^{65} (p, n) Zn^{65}	Co^{59} (d, 2p) Fe^{59}
Cu^{65} (d, 2n) Zn^{65}	Cu^{65} (d, α2p) Fe^{59}
	Cu^{65} (d, 2α) Fe^{59}

右欄においては同じ様な過程で ${}_{29}Cu^{64}$ の存在が認められる筈である。しかし Cu^{64} は半減期が 12.8 時間で，相当期間後では検出不可能であろう。又左欄において Fe^{58} は安定同位元素 Fe 中，僅か 0.31% に過ぎず，Co^{59} は Co^{59} (n, γ) Co^{60} 及び Co^{59} (d, p) Co^{60} の反応により Co^{60} が存在せねばならぬ。岡野真治氏(34) は 3.2.2. のラヂオコロイド，フラクションに関しシンチレーションカウンターにて γ-線エネルギー測定の結果，Co^{60} よりの γ-線エネルギー 1.17Mev 及び 1.33Mev を発見出来ぬとした。従つて Zn^{65} 及び Fe^{59} は Zn と Cu より成る真鍮のカバーに対して，α-粒子，陽子，重陽子，又中性子の衝突による二次誘導放射性物質と推定する。

俊鶻丸の試料に Zn^{65} 及び Fe^{59} が発見され，3 月 1 日に被灰した第 5 福竜丸の灰に見出されぬ理由は，俊鶻丸の試料の大部分は 2.2.2. に述べた如く，大部分 5 月 5 日の原水爆による汚染であるので原水爆におけるカバーの相異か，Zn^{65} 及び Fe^{59} が 3 月 1 日以来の極めて小量ずつプランクトン及び魚体に蓄積され，減衰の関係で後になつて特に現はれたか，決定出来ない。

5.1.2. 海水中の放射能

俊鶻丸で調査した海域にて発見された海水中の放射性物質は殆んど大部分が原水爆爆発による降灰に起因すると考へる。それに関して三宅，杉浦，亀田氏の報告(34)，宇田氏の報告(35)，有住氏，その他の報告(36)がある。三宅氏その他は海流の断面を考へ，ビキニ西方 150 哩及び 570 哩を流れる放射能の強度を計算し 1×10^5curie/hr 及び 0.59×10^5 curie/hr とし，後者の減衰を考慮すれば略等量と見なした。その鉛直断面図は Fig. 46 に示した。次に海面上に落下した灰の放射能の強度を福竜丸の夫れより類推し 0.28 curie/m² とし，深さ 100m まで分布するとして (Fig. 46 参照)，巾 130m の断面をとり，東西方向の流速を 1.8km/hr とすれば，0.2×10^5 curie/hr 流れると計算した。従つて実際の測定

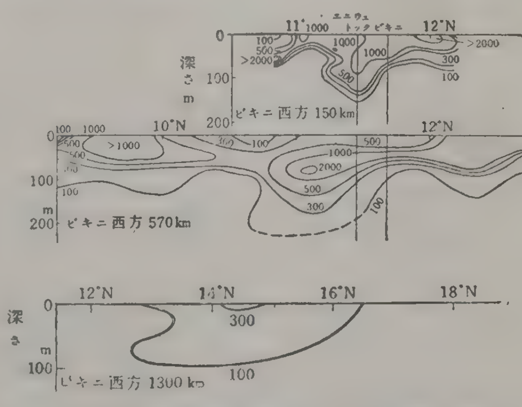


Fig. 46 放射能の鉛直分布 cpm/l (三宅，杉浦，亀田)

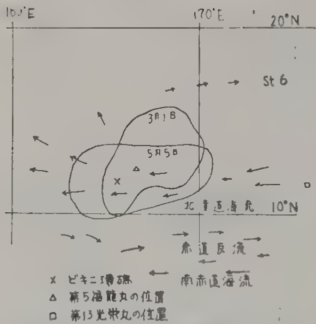


Fig. 47 0.1mm の降灰分布 (3月1日，5月5日) 及び海流図 (有住)

値とオーダーの点にて一致している。故に環礁を含む相当広範囲の降布区域 (100km 平方位) からの流出と拡散と考へるのが妥当であらう。

之等の降灰は水藤，滝山，上田氏[38] の研究によればサンゴ礁の主成分である $CaCO_3$ (Aragonite) が高熱により CaO に分解し，更に原子状態になり，冷却に従い空気中で再結晶し $CaCO_3$(Calcite) になり，その集合が落下したものであると X-線及び電子線解折より結論している。海水中の放射性物質は再結晶の際，核分裂生成物を吸着して海面に落下し，海水中で，その儘溶解せず徐々に溶けたものであろう。

溶解して海水中に存在する場合，俊鶻丸上で杉浦氏[12] は東洋沪紙 No. 5C (0.5μ) で沪過した結果，沪過残査の放射能は全体の 1% 程度に過ぎない。従つて粒子として存在しているものは極めて少い。次に海水を 120 日後，沪紙 (上記の No. 5C) にて沪過し，沪過された区分を遠心分離器により 3000 rotation/min にて 1 時間遠心分離後，上ずみと，沈澱をイオン交換にて分析した。前者はアルカリ土金属が大部分を占め，後者は稀土類が 70% を占めた。前者は Sr 化合物に関して熱帯海水では飽和せぬ故，Sr であろう。後者は海水中の水酸化物或いはコロイドに吸着した稀土類元素と推定される。又俊鶻丸上で海水に汚染されたプランクトンネットを生水で 30 分程充分に洗い流しても汚染はとれない[40]。之はネットの繊維素に吸着していることを示している。

従つて Sr，Ba はイオンの状態にて稀土類元素等は水酸化物或いはコロイドに吸着していると見做すべきであろう。

5. 2. プランクトンと魚類の放射能

5. 2. 1. プランクトンの放射能

俊鶻丸の報告[49] によれは Table 14 の如く，翼足類が最も強く，撓脚類，サルパ類，矢虫類の順でクラゲ類が最も低いが，との種類も海水の汚染状態と一致した変化を示し，

Table 14 大型プランクトンの放射能プランクトン乾燥量 1g 当りの放射能 cpm

観測地点	5	8	16	17	21	26	27
月 . 日	5-30	6- 2	6-11	6-12	6-20	6-27	6-28
放散虫類	210	400	180				
クラゲ類	93	0	0	2700	280	0	50
カツオノエボシ			40	2300	830		
撓脚類	1830	46	34	6400	4080	78	270
翼足類					<76000		8600
矢虫類(有尾類を含む)	190	4	0	3800	510	46	170
サルバ類	650			3650	720	160	

Table 15 に示した如く海水の放射能と有尾類との相関を調べて見ると，海水表面では相関係数 (γ) は 0.24 となり相関が認められず*，50m 層の海水及び 200m 層までの最高値との相関をみると $\gamma=0.85$ となり，5% 以下の危険率で有意な相関が認められた。橈脚類では表面海水で $\gamma=0.56$ となり 50m 層及び 200m 層までの海水の最高値との相関は $\gamma=0.84$ 及び 0.56 と云ふ高い相関となる。サルパ類，クラゲ類についても相関は有尾類と全く似ており，翼足類では表面でも高い相関が見られた。又プランクトンは種類によつて上記の如く差がある。即ち一般に小型プランクトンは大型プランクトンより強く，同一重量の海水に比較して 1,000～10,000 倍強い。Krumholz L. A. の報告** によれば，核分裂生成物を人工湖水に流した結果，藻類（特に糸状藻類）に多く，*Spirogyra* にては 15,800cpm/g，又植物プランクトン *Volvox* にては 2,800cpm/g を示して居る。環境水の平均は 4cpm/c.c. であつた故に同一重量に対して 4,000 倍及び 700 倍になつている。（尚 *Spyrogyra* では P^{32} が 42%，稀土類が 35%，Sr が 22% であつた。）Hayes, F. G. et al[42] によれば放射性同位元素 P^{32} を使用し，海水中の動物プランクトンは同一重量の海水に対し平均 20,000 倍と報告している。

次に之等は海水中の放射性物質が単たる附着による汚染か，或いは摂取されたかの問題がある。之に対して一例ではあるがサルパは新鮮物 1g に対し内臓が 8000cpm に対し，透明部は 130cpm に過ぎない。単位重量に対し表面積が多いクラゲは翼足類や橈脚類に比して放射能は極めて低い。4. 2. 2. におけるオウトグラフにおいても，橈脚類の口辺は他の部分に比して強く黒化した銀粒子を見る。之等の事実よりプランクトンの放射性物質の存在は表面に附着したと考へるよりは機能上の摂取と推定する。尚摂取経路は東大，松江吉行氏は[43] 福竜丸に降つた灰を浸出した実験において，動物プランクトンは餌（植物プランクトン）を介してよりも直接還境水より放射性物質を摂取したと報告している***。

2. 2. 2. において述べた如く，橈脚類とサルパにては減衰常数は前者が $n=1.25$～1.4 で後者は $n=2.0$～2.5 となつている。又 2. 3. 2. では橈脚類とサルパ類の β- 線エネルギー分布もお互いに異つている (Table 4 及び Table 6)。又筆者[44] は *Spirogyra* を I^{131}, S^{35}, P^{32}, Ca^{45} 及び Sr^{89} の同程度の濃度の放射能をもつ環境水に飼育し，各々の摂取速度及び摂取量を調べた。摂取の速いものは P で，Ca, Sr が之に次ぎ，更に S で，I は極めて遅い。摂取量は Sr. Ca, が還境水の単位重量に比して 100 倍程度，P. は 1000 倍程度，S は 10 倍程度のオーダーである。又 Krumholz L. A. は前述の報告において，Sr^{90}，$Sr^{90}+Y^{90}$ 及び Cs^{139} の還境水において植物プランクトンを飼育し，*Carteria* は殆んど Sr，を，*Thoracomonus* は半々，一般のプランクトンは Y^{90} を 90% を蓄積せる傾向を認めた。之等の事実はサルパやホヤが多量に Va を集め，放射線虫類は Sr を集めると云ふ事と相俟つてプランクトンは種類によつて選択的に元素を蓄積する事が認められる。

* プランクトンの種類により海水中の上下移動を考慮せねばならぬので当然である。従つて海水中の最高値と相関を取るのが妥当であろう。

** L. A. Krumholz　A. E. C. ORO-132 Oct. 1954

*** 筆者は *Aphanocapsa*（植物性プランクトン）を核分裂生成物にて飼育し，更に *Brachionus*（動物性プランクトン）に入れた所，*Aphanocapsa* は *Brachionus* に喰はれ，*Brachionus* の核分裂生成物の蓄積は，その和となることが解つた。科学，Vol. 26, No. 7, p. 363, 1956

Table 15 海水と大型プランクトン（有尾類，撓脚類）の放射能の比較海水の

観測地点	5	6	7	8	9	12	15	16
月　日	5-29	5-30	6-1	6-2	6-3	6-7	6-10	6-11
表面海水の放射能	150	450	25	11	3	0	3	10
50m度深海水の放射能			36					
200m深度までの最高放射能		(0m) 450	(50m) 36					
有尾類の放射能	190	490	50	4	0	0	0	0
撓脚類の放射能		1850	64	29	5	0	5	34

3. 2. 2. において筆者は撓脚類の放射性物質の同定の結果，爆発 240 日後，放射性物質の 80% は Zn^{65} であり，20% が Sr^{89} であり，極く僅かアニオン群 (Ru と推定) に認められることを述べた。之を爆発 40 日後に行つた撓脚類の β-線エネルギー分布 (2. 2. 2. における Table 6) と比較して見る。0.3±0.1 Mev の欄は恐らく Ru, Ce, Zr, Pm 及び Zn であるが，Zr，Ce，Pm は 3. 2. 1. のイオン交換の実験で，200 日の減衰を考へて見て，存在すれば 0.5% の蓚酸フラクション及び 5% クエン酸アンモン pH=3.53 のフラクションに入る筈である。従つて Zn^{65} が大部分で Ru が一部であろう。1.3±0.1 Mev の欄では Sr^{89}. Y^{91}. La^{140} であるが，減衰より考へて Y^{91} (61d) はあつても僅かであり，存在するものとしては Sr^{89} 及び La^{140} があつたであろう。然しながら減衰及び 40 日後のエネルギー分布における収量の程度を考へれば Zn^{65} 及び Sr^{89} が最も多い。

3. 1. 2. の実験において，カツオの胃内容物(主として撓脚類) の不透析部 70% は Zn が海水中より摂取され体内で蛋白質とゆるく結合していると考へれば，4. 1. 2. における撓脚類の X-線分析の結果 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ の結晶中の Zn が死後蛋白質の分解にて体内の海水の SO_4 と結合したとの推定して良いであらうか。又乾燥の際に $7H_2O$ を得て上記の結晶になつたことは 4. 1. 2. で既に述べた。

5. 2. 2. 魚類の放射能

プランクトンはその種類によつて摂取する放射性物質を異にしていた。従つて海水産の硬骨魚類（カツオ，キハダ，カヂキ，トビウオ）は食性を異にする故，摂取する放射性元素は異つても良い訳である。然しながら上記の魚種別においては判然とした区別を見出せない。先ず 2. 2. 2. の減衰常数から見て Table 4 から判る如く，カツオ，メバチ，キハダ，クロカジキ，トビウオの肝臓の減衰常数は何れも n=2.0～2.8 の間にあり，又それ等の腸内容物は 0.7～1.2 となり，カツオ及びキハダの腎臓は各々 2.2 及び 2.0 で極めて近い。従つて魚種別に異ると云ふ結論は出ない。又 2. 3. 2. において Table 6 から判る如く，カツオ，キハダ，トビウオの肝臓よりの β-線エネルギー分布も略同じ欄（即ち同じエネルギーをもつもの）に入り，腎臓も又略同じ欄に分布する。このことからも海水産の硬骨魚類は魚種別に異つた放射性物質を摂取するよりは寧ろ魚体の各器官別に選択的に摂取すると考へた方が良いであらう。

魚類の放射性物質の摂取経路は，放射性元素の種類によつて摂取径路の差があると考へられるが，一応巨視的に見て海水より直接，鰓を通して各器官に摂取される。次に海水

放射能はcpm/l, プランクトンは 乾燥量1g当りの放射能 cpm

17(1)	17(7)	18	19	20	21	22	23	24	26	27
6-12	6-12	6-13	6-14	6-19	6-20	6-21	6-23	6-24	6-27	6-28
84	5540	70	650	480	1300	210	16	1	10	350
5800	920	84	420	410	330	780	7	5	9	180
(50m) 5800	(20m) 6050	(50m) 84	(0m) 650	(0m) 480	(0m) 1300	(50m) 780	(0m) 16	(75m) 9	(75m) 70	(0m) 350
3800		280	640	410	930	680	14	0	45	170
6400		190	980	1300	4100	1940	11	5	78	280

中の放射性物質をプランクトン，或いは小型魚類を介して消化器官より摂取される。又上記の両方が共に行はれると云ふ三通りが考へられる。俊鶻丸にて採取せし飛魚（魚体番号 No. 6 St. 18　6 月 13 日）を例とする。魚体の重量を 0.1kg 程度であり，その O_2 の消費量を 1 時間に 5c.c./0.1kg.h とすれば一日に 120c.c.0./1kg.h となり，海水中の O_2 の溶存量は 5c.c./l とすれば，O_2 の消費量を海水流入の 1/2 としても 120c.c./5 c.c.×2≒50 l となる。表面海水の放射能は 100cpm/l であるが，附近の場所を考慮し，

Tablel 16　キハダ•メバチ•ビンナガ•カツオクロ•カジキの器官別放射能の強さ　新鮮物 1g を乾燥した時の cpm, 数字は船内測定値（ゴヂック数字は同一試料 3 ケ月後の値(河端)）

		肝				臓		胃	内容	
キハダ	1	右葉上部	2000	**243**	部葉上部	3500		ハコフグ科	2400/0.4g	**318**
		中 〃	2200	**234**	〃 右	2900	**265**	クロタチカマス科	2000	**358**
		左 〃	1900	**214**	〃 葉	3100	**210**	シマガツオ型類	1700	**359**
								イカ	3700/0.9g	
	2	右葉下部	3000	**371**				シマガツオ型類(消化器)	930/0.8g	**134**
								(肝•腎)	1100/0.7g	**201**
				50.2						
	3	中葉上部	1700					クロタチカマス科	420/0.6g	**73**
	4	下部中左	6000					ハコフグ科	620/1.1g	**154**
メバチ	5	右葉上部	1900	**245**	右葉下部	4000	**307**			
		中 〃	1700	**272**	中 〃	2800	**314**			
		左 〃	1400	**221**	左 〃	3100				
	6	右葉上部	800	**125**	右葉下部	1900	**204**			
		中 〃	1800	**199**	中 〃	1700	**166**			
		左 〃	1100	**117**	左 〃	1700	**187**			
ビンナガ	7	右葉上部	3100	**705**	右葉下部	4700		クロタチカマス科	660/0.95g	
		中 〃	3000	**668**	中 〃	5000	**879**	イカ	720/0.9g	
		左 〃	2600	**545**	左 〃	2700	**643**	ハコフグ科	2000/0.95g	**185**
カツオ	8	右葉上部	40000/0.8g	**6798**	右葉下部	48000/1.1g		イカ	3900/0.95g	**656**
		左 〃	47000	**7690**	左 〃	33000/0.75g	**5996**	エビ	360/0.1g	
クロカジキ	9	中葉上部	1500					イカ	3200/0.65g	
								カツオ	8200	
								マンボウ科	14,000/105g	

		観測地点	月日	体長 cm	体重	性別	サーベイ値 表面	サーベイ値 エラ	サーベイ値 内臓	皮（ウロコを含む）	背側筋肉	腹側筋肉	血合肉	エ　ラ
キハダ	1	17	6-12	135.3	44·6	♀	500	1500	3500	40 **4.2**	10 **-0.7**	15	45 **7.3**	300 **42.2**
	2	〃	〃	133.2	43.8	♀	1300	3600	8000	130 **23.3**	18 **1.3**	0 **4.7**	110 **14.9**	490
	3	〃	〃							25 **2.8**	15 **0.9**	0 **1.6**	深部 54 表面 20 **-4.4**	110 **8.5**
	4	〃	〃	122.5	36.7	♂	620	1900	2000	120 **16.2**	11 **-0.7**	14 **2.5**	深部100 **21.2**	480 **6.8**
メバチ	5	〃	〃	138.8	52.5	♂	380	1200	3000	27 **5.5**	12 **-1.5**	0 **5.5**	10 **5.2**	240 **51.9**
	6	〃	〃	136.4	57.7	♂	210	500	3000	0 **4.9**	0 **6.3**	0 **-1.1**	10 **8.2**	110 **21.2**
ビンナガ	7	〃	〃	102.5	24.7	♀	600	3600	7000	50/ 0.8g **13.5**	16 **3.5**	10	120 **49.5**	340 **97.2**
カジキ	8	20	6-19	70.0	7.9	♂	3500	10000	24000	730 **418.5**	160 **43.2**	180 **59.8**	580 **156**	1900 **474**
クロカジキ	9	17	6-12	162.3	54.8	♂	500	1000	1800	50 **8.2**	12 **-1.9**	13 **-0.4**	25 **9.2**	320 **55.2**

多くとも 1000cpm/l として 50l 中には 5×10^4cpm となる。一方胃内容物は新鮮物 1g につき 10^5cpm/g である。餌の消費量を一日に体重の 1/10 とすれば(46), 10^6cpm は吸収されることになる。従つて後者の方が 10～100 倍多いとも云える。又 6 月 12 日，St. 17 において捕獲したヨシキリザメは海水の放射能が最も強い海域（最高値 50m で 6000cpm/l）であるにかかはらず，全く放射能が見出されなかつた。以上の二つの点より魚体中に見出される放射性物質は海水より直接に鰓を通して摂取される部分よりも，餌を通して消化管より摂取されたものが大部分であると考えるべきであろう。

筆者(48) は Ca^{45}, Sr^{89}, S^{35}, P^{32} を用いて金魚に対して実験を行つた。先ず上記同位元素を 10^4cpm/l を飼育水に混入して，金魚の内臓の摂取を調べた。それに依れば，Ca^{45}, Sr^{89} は S^{35}, P^{32} に比し 10^2～10^3 倍の摂取が認められた。次に上記同位元素を *Spyrogyra* に摂取せしめた*。Ca^{45}, Sr^{89}, S^{35}, P^{32} を電気脉動クロマトグラフにて高分子の結合状態とイオンの状態かを調べた結果，Ca^{45}, Sr^{89} は略半分はイオンの状態にあり，P^{32}, S^{35} は全て高分子結合の状態にあつた。之等の *Spyrogyra* を餌として金魚に与へた場合は S^{35}, P^{32} は Ca^{45}, Sr^{89} に比して飼育水に溶解した時と逆に 10～10^2 倍摂取された。富山哲夫氏(47) は Ca^{45} を用い海産のフグ，カレヒ等に飼育水に入れた場合鰓を通して，ヒレ，ウロコ更に骨に蓄積することを指摘した。檜山義夫氏(49) 等は福竜丸の灰を用い

* 5.1.2. に摂取量は既にのべた。

血液	心臓	膽汁	幽門垂	脾臓	胃壁	腸壁	腸内容	性巣	腎臓	骨
340		210 **19.4**	3400 **564**	980 **436**		700	7700 **159**	300	1600	55 **10.9**
630	160 **38**	1400 **7.33**	1500 **344**	3200 **2407**	250 **65**		18000 **3660**	1000 **387**	210 **114**	15/0.6g **10**
210	35 **5.5**	816 **47**	3500 **46.8**	3500 **564**	270 **141**	220 **67.5**	3600 **644**	80 **8.5**	830 **143**	0 **1.3**
480		1300/ 0.95g **12.8**	5300	640	240 **36.2**	550 **61.8**	1100	200 **32.8**	1800	30 **13.5**
200	54 **17.5**	1300 **28.9**	2100 **407**	460 **195**	350 **33**	890 **160**	3200	50 **24.2**	500 **141**	40 **3.5**
130	70 **6.2**	730 **-2.8**	2400 **447**	270 **162**	140 **13.9**	1300 **224**	3700 **270**		470 **110.5**	0 **1.9**
680	130 **50.9**	180	2800 **602**		640	600 **129**	2600 **334**	140 **36.5**	2900 **848**	40
	1800 **475**	3400 **194.7**	29000 **6452**	5050/ 0.7g **1463**	5900 **2462**	4800 **1830**	28000	基部 1300 **402** 先端 1200 **343**	21000	420
230/ 0.95	65 **10.2**	2500 **30.9**	2200 **3825**	210 **77.2**	90 **13.9**	160	1000 **31.5**	130 **22.2**	430 **116**	0 **5.5**

て，海水の可溶部分（Sr と考へられる）を経口的に投与した場合，魚体各部への転位は極めてすくないと報告している。末広恭雄氏[50]は Sr^{90} を海水中に入れドロメを飼育した結果摂取が認められ，経口的の場合は殆んど認められない。更に Duke 大学の Chipmann 博士の私信* に依れば核分裂生成物を環境水より魚体に摂取させる場合には環境水の単位重量の放射能と略等しくなつて飽和し，一度プランクトンに摂取せしめた後，プランクトンを餌として与えれば1ケ月後も徐々に蓄積される傾向にあると報告している。従つて此等の実験結果を綜合して考慮する時，俊鶻丸にて捕獲した海水産の硬骨魚に見出される放射能は海水中にイオンの状態にあるアルカリ土金属 Sr Ba は鰓より摂取され，海水中の水酸化物或いはコロイドに吸着した稀土類元素，金属は餌を通して消化管より吸収されたと解すべきであり，御中の 3. 2. 1. における如く稀土類元素は Zn 等の金属元素に較べれば殆んど吸収されず，又排泄され易いと見做すべきであろう。

5.3. 魚体各部の放射能

5.3.1. 魚体各部の放射能と移行

同一魚体内における放射能の強度は各器官によつて著しく異つている。俊鶻丸にて捕獲した魚類中，比較的放射能が各部に強いものを Table 16 に示した。即ち胃腸内容物，幽

* Duke 大学研究員辻井禎氏より小生宛の私信

門垂，肝臓が最も強く，胃壁，腸壁はその内容物に較べて低い値を示した。鰓及び血液にも臓器よりはやゝ低い放射能があり，精巣の汚染も認められ，骨及び皮膚（鱗を含む）の汚染はかなり低い。筋肉は更に少い。特に 6 月 12 日に St. 17 で獲れた，キハダ 4 体，メバチ 2 体に関して各器官別の摂取状態を調べる。之等の魚体は同時に捕獲され，体重も 36.7kg より 57.7kg で極めて似ている。各器官としては筋肉，鰓，血液，幽門垂，腎臓，肝臓，骨，腸内容物を生理上の代表器官とする。そして信頼度 95% をもつ信頼限界を求めた。之を Fig. 48 に示した。即ち爆発後，同じ時期において，重量の略等しいキハダ，メバチの各器官のもつ放射能の強度のバラッキは少くない方から，鰓 ($10^{2.39\pm0.07}$)，肝臓 ($10^{3.35\pm0.23}$)，幽門垂 ($10^{3.45\pm0.24}$)，骨 ($10^{1.35\pm0.13}$)，筋肉 ($10^{1.7\pm0.18}$)，血液 ($10^{2.40\pm0.28}$) であり，腎臓($10^{2.84\pm0.42}$)，腸内容 ($10^{3.53\pm0.56}$) は多い。以上より血管の分布の多い器官に高い放射能を示すのは当然として，又バラツキの点から腸内容物は餌の摂取現状による故，バラツキが多いのも当然であり，腎臓のバラツキは注目すべきである。

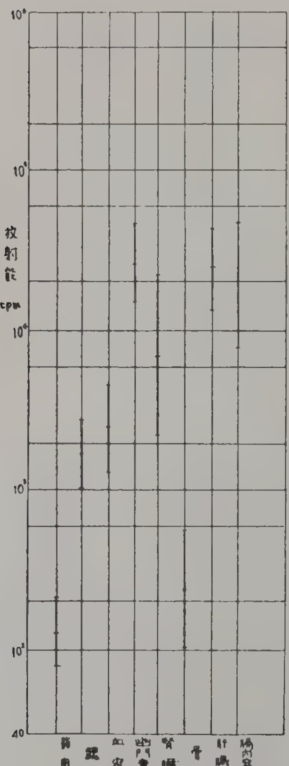


Fig. 48　キハダ(4)，メバチ(2) の各器官別の放射能の平均値と信頼限界 (95%)

次に Ziversmit, Entenman, Fishler(51)(52) は放射性同位元素を使用して組織及び器官の交替率の理論をつくり，実験を行つた。筆者は Willam E. Siri(53) の上記の理論の拡張したものを模式化して，俊鶻丸にて採取せしトビウオ (5 月 31 日，6 月 3 日，6 月 13 日，6 月 18 日，6 月 31 日) の魚体各部の時間的経過による放射能の強度を問題にする。Siri によれば組織，或いは器官 A. B. C. があり，A より B に K_1 の交替率で B に入り，B より C に K_2 なる交替率で入り，C より K_3 なる交替率で排泄するならば，放射能の強度は

$$A \quad x_1 = Xe^{-k_1 t} \quad \mathrm{mc/g} \tag{13}$$

$$B \quad x_2 = \frac{k_2 \times M_1}{(k_2 - k_1) M_2} (e^{-k_2 t} - e^{-k_2 t}) \ \mathrm{mc/g} \tag{14}$$

$$C \quad x_3 = \frac{k_1 k_2 \times M_1}{(k_2 - k_1)(k_3 - k_1)(k_3 - k_2) M_3} \times [(k_3 - k_2) e^{-k_1 t} - (k_3 - k_1) e^{-k_2 t} - (k_1 - k_2) e^{-k_3 t}] \quad \mathrm{mc/g} \tag{15}$$

となる。之を模式化すれば Fig. 49 となる。

ここに k_1, k_2, k_3 は A、B. C. の交替率，M_1, M_2, M_3 は A. B. C. における物質（放射性物質とそれと同元素の物質，X は最初に取り入れた放射能の強度を表はす。トビ

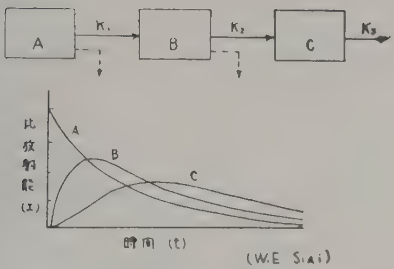


Fig. 49　三つの組織或いは器官の放射性物質の摂取と排出

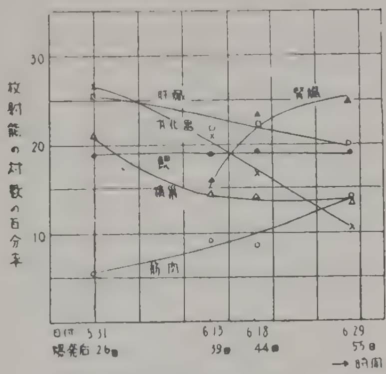


Fig. 50　トビウオの魚体各部の放射能の時間的変化

Table 17　魚体各器官にある放射性物質

魚体各器官		イオン交換樹脂及びクロマトグラフにて確認された放射性物質　(200日後)	β－線吸収曲線. 減衰曲線及び Pu^{239} の 40 日後の収量より想定される放射性物質
胃壁	透折部	Zn, Zr, Sr, 稀土類元素. Fe	
	不透折部	Zn, Ru,	
腸壁*	透折部	Zn, Sr, Ru, Zr	
	不透折部	Zn, Ru	
幽門垂	透折部	Zn, Sr, Ru, Zr	
	不透折部	Zn	
肝臓	透折部	Zr, Zn, 稀土類元素 Np(Pu)***	} Ce, I, Pr,Ba **
	不透折部		
腎臓	透折部	Zn, Sr	} Ru, Ce, Zr　Pr, Ba　Y, Sr
	不透折部	Zr, Ru, 稀土類元素	
鰓*	不透折部	Zn, Sr, Ru, Zr	
筋肉		Zn, Sr	
脾臓			Ru, Ce, Zr　Y, Sr
骨		Sr, Zr	
腸内容			Ru,Ce,Zr,Zn, I Ba,Pr, St

* Fig. 28に示した β-線の吸収より推定
** —は各放射性物質を区別出来ない
*** ラジオオウトグラフにて確認

ウオの消化器，筋肉，鰓，肝臓，腎臓を生理的代表器官として選び，計数値の対数をとり，百分率を取る。Fig. 50 に示した。この場合海水の放射能強度は表面において，最大値は最低値の 20 倍であるが，相対値のため考慮する必要がない。又肝臓，腎臓，消化器の減衰常数が知られており減衰の補正は行ってある。Fig. 49 と Fig. 50 に比較すれば爆発後 26 日から 55 日の間には，消化器は既に減衰の状態にあり，肝臓も減衰して来てい

る。鰓は略定常状態に達していると思はれ，精巣は減衰より定常状態に達したと思はれる。何れも Fig. 49 の *C* に相当するであろう。腎臓は蓄積されつつも飽和状態近きを見せ，筋肉は未だ蓄積をする可能性がある*。

魚体各部の放射性物質は 3. 2. 2. のイオン交換法，及び 3. 3. 2. のペーパークロマト法にて確認した (Fig. 28～Fig. 32, Table 10 及び Table 11 を参照)。次に 2. 3. 2. において β-線エネルギー分布及び減衰の測定からトビウオの肝臓に Ce^{141}, I^{131}, 及び Ba^{140} か或は Pr^{143} を認めた。前者は爆発後 200 日であり，後者は 40 日である。次に 40 日後における β-線のエネルギー分布と，U^{238} の核分裂生成物の収量と Pu^{239} の核分裂生成物の収量の分布を仮りに同じとして，Pu^{239} の核分裂後 40 日目の収量の分布と，2. 3. 2. の β- 線エネルギー分布と比較して放射性元素を推定する。之は一つ一つを確認出来ないが，その群が推定される。例へば Ba^{140} 或いは Pr^{143}, Ru^{103} 或いは Ce^{144} 或いは Z^{95} が存在すると。次に 3. 2. 1. で行つた β-線吸収曲線より，その傾向の一致より腸壁の不透折部不溶区分は胃の不透折部不溶区分と同じとする。又オウトグラフ上に表はれた α- 線より肝臓中に Np の存在を認めた (4. 2. 2. を参照)。以上を全てまとめて Table 17 に表はした。

5. 3. 2. 魚体各部の放射性物質の代謝機構

俊鶻丸にて採取せし試料（特にカツオ）の核分裂生成物及び二次誘導放射性物質に対する新陳代謝の機構を論ずる前に，核分裂生成物及び二次誘導放射能（Zn を特に問題にする）に関する生物の代謝機構に関する文献を引用して見る。

Knobf(54) によれば，White Oak 湖 Clinch 河にて淡水魚に関しては，魚の硬組織では Sr, Y が殆んど 80% をしめ，10% が P^{32}, 5% が Cs^{137}, Ce^{144}, Ru^{105} であり，之に反して軟組織では Cs^{137} からくる放射能が 50～90% をしめている。1949 年 Bikini 環礁の実験報告(55) では魚の組織中の放射性物質の大部分は Ce^{144}, Pr^{144} であると云う**。核分裂生成物に関する実験室内の実験では Hamilton(56) によれば，稀土類元素及び超ウラン属のモルモットの消化管よりの吸収は，投与されたものの 0.05% 以下に過ぎない***。吸収された物質の内の大部分は肝臓に見出され，その 1/2～1/4 が骨に移行し，肝臓における生物学的半減期は約 10 日で，骨では長期間沈着される傾向にある。そして骨では Pu, Th, Zr は骨の Ca に関係しない部分に沈着し，Ce, Am は Ca に関する部分に沈着した。福竜丸の灰を用いて京大の T. Kikuchi, et al は二十日ネズミに対して次の報告している。投与に対して Y^{91} は消化管よりの吸収は少なく，主に骨に沈着し，Y^{91} の排泄は腎臓と消化管より行はれる。$Ce^{141,144}$, Pr^{144} は皮下注射で骨に最も多く見出されるが，Y^{91} よりは遙かに少くない。$Sr^{89,90}$ は経口的投与で骨に集められ，Y^{91}, $Ce^{141,144}$, P^{144} に比較して遙かに多い。$Sr^{89,90}$ の排泄は腎臓及び消化管で行はれ，骨以外の排泄は極めて早い。$Ru^{103,106}$, Rh^{106} の経口的投与で消化管よりの吸収は少くな

---

* 尚筋肉，鰓，肝臓，腎臓に関して前述の個体差をあてはめて，尚且つ有意差が認められる。大型魚を小型魚に適用した点に問題は残る。

** 1949 年の実験は U^{235} の核分裂と考へられ，Hunter, Ballou (文献 6) の表によれば，この測定時は 1 年以後であるので，Ce^{144}, Pr^{144} は共に全体の 21% に当り，稀土類元素が多いと云ふ理由には全くならない。

*** Sr, Te, I., Ba, Cs を除いて。

く，骨に沈着しないで，腎臓，肝臓，肺，脾臓に沈着する傾向を示す。 Zr^{95}, Nb^{95} は消化管よりの吸収は良くない。主に腎臓から排泄され，骨には極く一部沈着し，脾臓，肺に沈着する傾向がある。Zr^{95} 及び Nb^{95} はコロイド集合を形成し易いので，脾臓及び肺への沈着は網状細胞による食作用によつて説明される。I^{131} の吸収は甲状線に著しく集められる。今回は魚体各部より核分裂に際して二次誘導放射性物質と推定される Zn^{65} 及び Fe^{59} が見出された。 Fe^{59} の量は少くないので，特に多い Zn に関する新陳代謝に関する二三の実験例を示す。 Montogmery その他は[58] 犬を用いて Zn^{65} を投与し， 肝臓，膵臓に選択的に吸収されて，相当量が膵液に，一部が胆汁に移行する。排泄は消化器官により，腎臓よりは少い。又 Rosenfeld その他[59] はモルモットで Co^{60}, Cu^{64} と共に Zn^{65} を肝臓，脾臓及び肺の細胞の核内に見出した。又原形質内の金属の大部分はトリクロ醋酸で蛋白の沈澱が液中に金属を残こした様な形で，多少は蛋白と結合しており，蛋白との結合はアルブミンよりはグロブリンと結合している。又血球と Zn との結合は離れにくいと報告している。東大の森高次郎氏は* Zn^{65} の環境水にてヒゴイを飼育した結果，腎臓及び鰓が強く， 3 日，7 日，22 日と上昇を示した。その他組織には少くないが硬・軟両組織にわたりその分布が認められ，筋肉には微弱であつた。又核分裂生成物中，魚体内で特に多く見出された Ru, Zr, Sr であるが，Ru に関しては文献が少くなく，Sr に関しては上記の魚関係にとどめた。 Zr に関しては Dobson その他[60] は Zr のコロイドを用いコロイド粒子の如何によつては肝臓の沈着が著しく多く，骨髄に較べて 10 倍に近いと報告している。

これらの諸報告と筆者の実験を綜合的に考へて U^{238} の爆発による放射性物質の摂取，種類， 移行， 蓄積， 排泄を系統的に論ずる。 特に筆者の実験の試料の大部であるカツオ (6 月 19 日 l.c. 20 にて捕獲, No. 26, ♂, 身長 70cm, 体重 7.9kg.) を例とする。カツオは餌として主にプランクトンを食する。プランクトンは 3. 1. 2. より 70% は不透析部であるので，放射能をもつ元素の 70% は高分子に吸着したものと考へられる。橈脚類 (コペポーダ) の分析より (3. 2. 2. Fig. 31) Zn 及び Sr が多く，更に腸内容物に関しては (5. 3. 1. Table 16) Ru, Zr, Ce, Pr, Ba 及び I 等が指定される。之等の元素で高分子に吸着しているものは胃内の酵素の作用により，分解されて 50% が低分子の状態となる (3. 1. 2. Table 8)。 更に腸内にて分解され 80% が低分子の状態となり腸壁に吸収されて血管により運ばれる。 一部はその儘胃及び腸壁の固有層及び筋層に沈着する (4. 2. 2. Fig 35～38)。** 幽門垂では 50% は低分子の状態で貯へられる。（例えばアミノ酸，又はグリコーゲンに放射性元素が吸着した形で） 血管へ移行する物質は胃にて Zn, Zr, Ru, Sr, Fe, 及び稀土類元素，腸にては Zn, Sr, Zr, Ru と推定する (5. 3. 1. Table 16)。その儘沈着する物質は胃・腸にて Zn, Ru で，幽門垂にては Zn であり高分子蛋白（例へばエラスチン，コラーゲン）と結合であろう。之等の放射性物質は補給を失へば減少をたどる (5. 3. 1. Fig. 50)。 又之等放射性物質は全てが吸収されずに排泄されるものが多い。特に稀土類元素の吸収は少ない(5. 3. 1. の末広氏の実験及び檜山氏の実験，5. 3 2. の Hamilton 氏のモルモットの実験， Montogomery その他

* 放射線影響調査委員会 水産班資料 昭和 30 年 3 月 高知市にて発表。

** オウトグラフによれば組織では血管及び淋巴腺の周辺に放射能が多く，又固有層及び筋層の結組織にも強く見られる。

の Zn に対する実験，K. Kikuchi 氏の実験）。移行する放射性物質 Zn，Ru，Sr，Zr 稀土類元素中一部は血球と結合する（4. 2. 2. オウトグラフ所見。Rosenfeld その他の実験）。Zn はグロブリンとの結合も考へられる。

之等の運ばれたものは全て肝臓に入る（5. 3. 2. の Hamilton 氏の実験）。肝臓に入つたものは特に Zr，Zn，稀土類元素が多く，又 Np もある。Zn は選択的に吸収され（5. 3. 2. Montogomery 氏の実験）。又 Zr 及び稀土類元素はコロイドを形成し易く，Kuffer 氏細胞に容易に沈着するであろう（5. 3. 2. の Dobson 氏の実験）。Np も又コロイドの状態で沈着したと推定される。然しながら肝臓も血管を通しての補給がなければ放射能は減少を示すであろう（5. 3. 1. の Fig. 50. 5. 3. 2. の Hamilton 氏の実験）。

鰓は海水魚においては呼吸作用の他，排泄作用を有する。海水にて呼吸の際，イオン状態にある Sr，Ba を取り入れて魚体中の放射能の一部を寄与するが，多くはない（5. 2. 3. の筆者及び富山氏の実験）。鰓には無機の状態で放射能は入つてなく，Zn，Sr，Ru，Zr が結合形で存在している。之は無機の形のものは海水との絶えざる接触により流出しているのであらう（3. 1. 2. の所論）。然しながら鰓は爆発後 23 日 ～53 日間にあつては平衡状態を示しており，一部有機物質が海水に溶けることを考へれば，血液よりの補給が相当あると考へるべきであろう（5. 3. 1. Fig. 50）。

筋肉の放射性物質の大部は Zn であり，一部が Zr である（3. 2. 2. Fig. 33）。結合は比較的に弱い。即ち不透折部より透折区分が多い（3. 1. 2. Table 8）。

又オウトグラフ（4. 2. 2. Fig. 39）によれば筋繊維の週辺，筋繊維束の周辺に強く，横紋筋の暗部に明瞭に放射能が見られ，明部にはない。前者は結組織の蛋白（例へばコラーゲン，エラスチン）と結合していると推定され，後者の暗部はミオシンが多いので，Zn ミオシンと作用しているのではあるまいか。筋肉は 23 日より 53 日の間は放射能は蓄積の状態にある（5. 3. 1. の Fig. 50）。結合が弱いのはミオシンに関係し，蓄積の状態にあるのは結組織の方と考へれば説明に都合が良い。

骨には Sr が多く，Zr，Zn が之に次いでいる（3. 2. 2. の Fig. 31）。オウトグラフによれば背椎骨の内部及び骨髄に相当する部分に多い（4. 2. 2. Fig. 42）。骨髄は淋巴液が入るのでコロイド状の Zr が骨の Ca のない部分にコロイド沈着を行つたものと推定する（5. 3. 2. の Hamilton 氏の実験，K. Kikuchi 氏の実験）。Sr は *X*-線・電子線の解折にて $SrCO_3$ 或いは $Sr(PO_4)_2$ の結晶形の形で検知されないが（4. 1. 2. Table 12），沈着する機構は $R-Ca+Sr^{++} \leftrightarrows R-Sr+Ca^{++}$ のイオン交換を考へるのが妥当であらう。

脾臓は Ru，Zr，Zn，Y，Sr が推定されて，各個別を確認は出来ないが（5. 3. 1. の Table 16），減衰が少く（2. 2. 2. の Table 4），且つ γ-線の成分が極めて多い（2. 3. 2. の Table 6）ことより Zn が大部と想像される。

精巣の放射性物質は全て不透析性，即ち高分子吸着であり（3. 1. 2. の Table 8），オウトグラフによれば上皮細胞より精母細胞の周辺に甚だ多い（4. 2. 2. の所見）。之は酸性蛋白質（例へばヒストン）が燐化合物を介して，Ru，Zn，Zr 等の金属が結合したものと推定される（5. 3. 1. の Table 16）。又精巣は 23 日 ～53 日後においては放射性物質は減少より平衡に達している（5. 3. 1. の Fig. 50）。

腎臓は透析部に Zn，Sr が多く，不透折部に Ru，Zr，稀土類元素が多く，胃，腸壁

と逆の状態をなしている (5. 3. 1. の Table 16, 3. 1. 2. Table 8 及び 3. 2. 2. の Fig. 31)。即ち Zn, Sr はその儘排泄され易く (5. 3. 2. の森氏の実験及び K. Kikuchi 氏の実験)。Ru, Zr, 稀土類元素は寧ろ沈着されると見做すべきである。オウトグラフによればマルキピー氏小体よりは細尿管の周辺に多い。(4. 2. 2. の所見) 之は排泄の際に再び吸収されて細尿管の細胞と結合 (例へばグロブリン) したものと推定され, 然も 23 日～53 日間においては蓄積の傾向にあることもうら付けとなる(5. 3. 1. の Fig. 50)。 Ru は K. Kikuchi 氏の実験では排泄されると報告であるが, 量が少くないので (3. 2. 2. の Fig. 31) で不明である。

6　結　　語

本研究に当つては俊鶻丸船上においては矢部博団長以下全調査員, 三重県立大学においては水産学部長岡田弥一郎博士に叮重な御指導を戴き, 化学実験に関しては堀口吉重氏, X線に関しては渡部哲光氏の援助を乞うた。又地球化学に関しては三宅泰雄博士の指導を得た。以上の諸氏に心から謝辞をのべたい。研究費は文部省科学研究費及び水産庁俊鶻丸調査研究費一部をあてた。

Resume

1. The present report deals with the study of the contaminated fishes (especially *Katsuwonus pelamis*) obtained on the "Shunkotsumaru", investigation boat around Bikini Atoll in 1954.

2. The G.M. counter set was chiefly used as the measurement apparatus. The radio active decay of the samples was measured on the ship and PrefecturalUniversity of Mie. The decay of sea water is more decreasing than of rain, and the difference between the sea depth is hardly recognized. The decay of *Copepod* is less decreasin3 than of *Salpa*. As to the organ of fishes the decay of liver is the most and of spleen the least.

β-ray energies emitted from many radioactive samples were determined by analysing the absorption curve. Judging from these results *Copepod* and *Salpa* did not have the same radioactive elements. And liver, kidney and spleen must be contaminated by the different radioactive elements.

Accordingly radioactive elements in each organ are seemed to be selectively uptaken rather by the difference in the organs than in the species of the fishes.

3. In order to examine the chemical combination form of radioactive substances in the tissues, electrodialysis was carried out after usual chemical treatment. There are no radioactivity in the portion extracted by ether. The radioactive substances of dialised portion occupy pretty many parts in each organ except testis and gill.

Nextly radioactive elements of each organ were separated by using ion exchange resin. Undialised portion of stomach wall and pylolic coeca and dialised portion of kidney were chiefly limited onto the fraction which was ascertained to be Zn^{65}. And by using the method of the paper chromatograph, a litte radioactive Fe^{59} was found in the dialised portion of stomach wall.

4. The X-ray powder photograph and electron diffraction photograph were taken for the bone of fish and *Copepod*. In the bone of fish, no other substances except $Ca_3(PO_4)_2$ and $CaCO_3$ were identified. And *Copepod* which contained a little amount of $ZnSO_4$ were analysed.

The tissues of each oagan were used as the samples of radioautograph. Grains darkend by radioactivities were found on all tissues (especially liver and digestive wall) of each organ. Some α-ray tracks were found, among the dotted grains blackend by β-rays on the liver love. As to the bone, the deposition of radioactive substances were marked inside of the bone and on the spiral cord.

5. Of fission products in the sea, rare earth elements and Zn were seemed

to be adsorped to the colloidal substances in the seawater and Sr in ionic form. Species of radioactive elements which were found in each organ of fishes are so restricted that element such as rare earth is hardly recognised in each organ in comparison with Zn and Sr.

Zn which is uptaken in each organs is seemed to have semoved through the digestive organs as food, on the other hand Sr absorped directly through the gill from the seawater.

In regard to the amount which is accumulting radioactive substances, there are not seen a large differences among each body of fishes. The radioactivity in each organ except kidney and muscles have the tendency of decreasing on 50 days after the nuclear detonation.

文 献

1) Volg, H., *Z. f. Phys.*, **93**, 539 (1935) ; Schiff, L. I., *Phys. Rev.*, **50**, 88 (1936) ; Ruark, A. E. and Brammer, F. E., *Phys. Rev.*, **52**, 322 (1937) ; Alaoglu, L. and Smith, N. M., *Phys Rev.*, **53**, 832 (1934).

2) Radio-Isotope Vol. 2 日本放射線同位元素協会 (1953) 百田光雄, pp. 10.

3) Zunwart, L. R., MDDC-**1346** (1947) ; Auger, H. O. et al., *Conference on Absolute β-counting, Preliminary Report*, No. 8, NRC (1950) ; Buritt, B. P., *Nucleonics*, **5**, 28 (1949) Gleason, G. I. et al., *Nucleonics*, **8**, No. 5, 12 (1951) ; Baker, R. G. and Katz, L., *Nucleonics*, **11**, No. 2 14 (1953).

4) Kouarik, A. K. and Adams, N. I. J., *Phys. Rev.* **40**, 718 (1932) ; Calvin, M., et al. *Isotopic Carbon*, Jhon Wiley & Sons, Inc. (1949) ; Jaffey, A. H., *Rev. Sci. Inst.* **25**, 349 (1954).

5) Auger, H. O. et al., ibid.

6) Way. K and Wigngr, E. F.; *Phys. Rev.* **73**, 1318 (1948) ; Hunter, H. F. and Ballou, N. E., *Nucleonics*, **9**, No. 5, C-2 (1951).

7) 木村健二郎，その他；分析化学，**4**, 335 (1954).

8) 塩川孝信，その他；分析化学，**4**, 349 (1954).

9) 山崎文男，筧　弘毅：科学，**24**, 295 (1954).

10) Ishibashi, M. et al : "The Radioactive Dust from the nuclear detonation", Bull. Inst. Chem. Res. Kyoto Univ. (1954), pp. 39.

11) 日本学術会議放射線影響調査特別委員会基礎班及び地球物理班報告資料： 日本に降つた人工放射性雨，雲 [II].

12) 三宅泰雄，杉浦吉雄：測候時報，**22**, **71** (1955).

13) Herbert, M. Clark ; *Science*, **119**, 519 (1954).

14) Applied Fisheries Laboratory, Univ. of Washington : AECD-**3446**, July 12 (1950).

15) Feather, N. ; *Pro. Cambridge Phil. Soc.* **34**, 599 (1938) ; Bleuler, E.and Zunte, W., *Hel. Phys. Acta* **19**, 1937 (1946).

16) "The Science and Engineering of Nuclear Power", Vol. 1, Addison-Wesley Press, Inc., Cambridge, Mass., (1947).

17) 中村誠太郎；自然，No. **6**, 3 (1955).

18) Coryell, Sugarman ; Radiochemical Studies : "Fission Products", Book **2-3**, New York (1951).

19) ibid. 10) における p. 56～59.

20) Tompkins, E. R., Khym, J. X., Cohn, W. E. ; *Jour. Ame. Chem. Soc.* **69**, 2769, (1947).

21) 山田金次郎，戸沢晴己，天野慶之，高瀬　明；日水誌，**20**, 921, (1955).

22) 佐伯誠道，岡野真治，森　高次郎；日水誌，**20**, 902 (1955).
23) 木羽敏泰，その他；分析化学，**4**, 361, (1954).
24) ibid. 10) における p. 60~74.
25) Sir Lawrence Bragg : "The Crystallin State" Vol. 1A. General Survey, Bell & Sons Ltd., London (1933).
26) HANAWALT, J. D., et al ; "Chemical Analysis by X-ray Diffraction" Ind. Eag. Chem., Anal Ed., **10**, (193A).
27) SVERDRUP, H. V., Jhonson, Flemming, R. H.; "Ocean" Vinogradov, p. 233, Prentice-Hall (1949).
28) H. YAGODA ; "Radioactive Measurement with Nuclear Emulsions" p. 247, New York, John Willey & Sons, Inc. (1949).
29) 古関靖夫；"オウトラヂグラフィー" p. 69, 細谷書店 (1954).
30) 古関靖夫；私信.
31) 吉井義一，その他；日水誌，**20**, 107, (1954).
32) HOLLANDER, J. M. PERLMAN, I. and SEABORG, G. T. : *Rev. Mod Phys.* **25**, 469 (1953).
33) LATTES, C.M.G. OCCHIALINI, G.P.S. and POWELL, C.E. ; *Proc. Phys. Soc. London*, 61, part **2**. 173 (1948).
34) 三宅泰雄，杉浦吉雄，亀田和久；科学，**24**, 601, (1954).
35) 宇田道隆；科学，24, 605, (1954).
36) 有住直介，その他；科学，**24**, 405 (1954).
37) A. E. C. ; "Report Issued the Atom Energy Comission on Effect of H-bomb Explosion" Feb. 15 (1955).
38) SUITO, K., TAKIKAWA. K., UYEDA N., ; ibid. 10) に於ける p. 18-28.
39) 日本学術会議放射能影響特別委員会，水産班資料，"放射能影響の水産学的研究" 東京大学農学部，松江吉行 p. 97 (1954).
40) ビキニ海域に於ける放射能の影響調査；"プランクトンの放射能" p. 31 水産庁調査研究部 (1955).
41) 杉浦吉雄；自然，**11**, p. 15 (1954).
42) HAYES, F. J. et al ., *Jour. Ecol.* **40** (1), 202 (1952).
43) 松江吉行：ibid. 39) における p. 88.
44) 吉井義一，渡部哲光；日水誌，**22**, 1955.
45) 相川広秋：海洋浮遊生物学 p. 96 昭和 17 年，水産社.
46) 右田正雄：水産と化学 昭和 19 年，文献社.
47) 富山哲夫：科学朝日，6 月号，**86**, (1954).
48) 吉井義一，渡部哲光：日水誌，**22**, 1955.
49) 39) の中，市川竜資，檜山義夫，p. 122.
50) 末広恭雄；科学，**24**, 619 (1954).
51) D.B. ZILVERSMIT, C. ENTEMAN, M.C. FISHLER, J. *Gen. Physiol.*, **26**, 325(1943).

52) Zilversmit, D.B. Enteman C. Fishler, M.C. and Chaikoff I.L. : *J. Gen. Physiol.*, **26**, 333 (1943).

53) W. E. Sire : "Isotropic Tracers and Nuclear Radiations". p. 388 McGraw-Hill Book Company, Inc. New York (1949).

54) Knobf, V. I. : ORNR–**1031**, July 9 (1951).

55) Applied Fisheries Laboratory, Univ. of Washington : AECD–**3446**, July 12 (1950).

56) Hamilton, J. G. : *Radiology*, **49**, 325–343 (1947).
Hamilton, J. G. : *Rev. Mod. Phys.* **20**, 718 (1948).
Hamilton, J. G. : *New Engl. J. Med.* **240**, 863 (1959).

57) K. Kikuchi, et al ibid. 10) の p. 75~p. 98.

58) Montogomery, M. L., Sheline, G. B. and Chaikoff, I. L. · *J. Exptl. Med.*, **78**, 151 (1943).
Sheline G. B., et al. : *J. Biol. Chem.*, **147**, 409 (1943).
Sheline G. B., et al. : *J. Biol. Chem.*, **149**, 139 (1943).

59) Rosenfeld, I., and C. A. Tabias: *J. Biol Chem.*, **191**, 339 (1951).

60) Dobson, B, Gofman, J. G. Jones, H. B., Kelly, L. S. and Walker, L. A.: J. Lab. *Clin. Med.* **35**, 304 (1949).

All communications relating to this Journal should be addressed
to the Dean of the Facultyof Fisheries

三 重 県 立 大 学

水 産 学 部 紀 要

昭和31年 7 月15日 印 刷
昭和31年 7 月20日 発 行

定価 350 円

三 重 県 津 市 大 谷 町
編者 兼 発行者　三 重 県 立 大 学 水 産 学 部
代 表 者　岡 田 弥 一 郎

仙 台 市 堤 通 二 七
印 刷 所　笹 気 出 版 印 刷 株 式 会 社

売 捌 所　大 阪 市　丸 善 株 式 会 社